

Manejo e Conservação do
SOLO
e da
ÁGUA
no Contexto das
**Mudanças
Ambientais**



Organizadores:

Rachel Bardy Prado

Ana Paula Dias Turetta

Aluísio Granato de Andrade

Embrapa

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Solos
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Manejo e Conservação do
SOLO
e da
ÁGUA
no Contexto das
Mudanças
Ambientais

Organizadores

*Rachel Bardy Prado
Ana Paula Dias Turetta
Aluísio Granato de Andrade*

*Embrapa Solos
Rio de Janeiro, RJ
2010*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Solos

Rua Jardim Botânico, 1024
CEP 22.460-000 Rio de Janeiro, RJ
Tel: (21) 2179-4500
Fax: (21) 2274-5291
www.cnps.embrapa.br
sac@cnps.embrapa.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Edifício Silvio Brandão, S/N
Campus Universitário
CEP 36570-000 Viçosa, MG
Cx. Postal 231
Tel: (31) 3899-2471
www.sbcs.solos.ufv.br
sbcs@ufv.br

Supervisão editorial - *Eduardo Guedes de Godoy e Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Normalização bibliográfica - *Cláudia Regina Delaia e Ricardo Arcanjo de Lima*

Revisão de Língua Portuguesa - *André Luiz da Silva Lopes*

Capa - *Felipe Ilário Muruci e Eduardo Guedes de Godoy*

Editoração eletrônica - *Felipe Ilário Muruci - FIM Design*

Assessoria da organização - *Guilherme Nogueira de Souza.*

1ª edição

1ª impressão (2010): tiragem 1.000 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Solos

P896m Prado, Rachel Bardy.

Manejo e conservação do solo e da água no contexto das
mudanças ambientais / organizado por Rachel Bardy Prado,
Ana Paula Dias Turetta e Aluísio Granato de Andrade - Rio
de Janeiro: Embrapa Solos, 2010.

486 p.: il.
ISBN 978-85-85864-32-3

1. Manejo do solo. 2. Uso da água. 3. Serviço ambiental.
4. Sustentabilidade na agricultura. I. Turetta, Ana Paula Dias.
II. Andrade, Aluísio Granato de. III. Título

CDD (21.ed.) 631.4

© Embrapa 2010

ISBN 978-85-85864-32-3



Organizadores

Rachel Bardy Prado

*Bióloga, doutora em ciências da engenharia ambiental e pesquisadora em geotecnologias e monitoramento ambiental da Embrapa Solos – RJ.
rachel@cnps.embrapa.br*

Ana Paula Dias Turetta

*Geógrafa, doutora em agronomia (Ciência do Solo) e pesquisadora em planejamento ambiental da Embrapa Solos – RJ.
anaturetta@cnps.embrapa.br*

Aluísio Granato de Andrade

*Engenheiro Agrônomo, doutor em agronomia (Ciência do Solo) e diretor técnico da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro, RJ.
aluisio.granato@gmail.com*

Agradecimentos

Os organizadores agradecem a contribuição dos pesquisadores e professores responsáveis pela organização das partes que compõe esse livro e aos autores de capítulos. Agradecimento especial a todos aqueles que participaram da comissão organizadora da XVIIIRBMCSA, bem como seus patrocinadores e colaboradores, com destaque para o apoio irrestrito da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária e da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Biografia dos Autores

Ademir Calegari

Doutor em agronomia, pesquisador nas áreas de adubos verdes, plantio direto e rotação de culturas do Instituto Agrônômico do Paraná – PR

Adriana Maria de Aquino

Doutora em agronomia, pesquisadora em biologia do solo da Embrapa Agrobiologia e professora da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – RJ

Alex Vladimir Krusche

Doutor em ecologia e recursos naturais, pesquisador em biogeoquímica de bacias hidrográficas do Centro de Energia Nuclear na Agricultura – SP

Alúcio Granato de Andrade

Doutor em agronomia (Ciência do Solo), diretor técnico da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro - RJ

Ana Paula Dias Turetta

Doutora em agronomia (Ciência do Solo), pesquisadora em planejamento ambiental da Embrapa Solos – RJ

Angel Filiberto Mansilla Baca

Tecnólogo em gestão ambiental, economista e bolsista do projeto ZAE-Cana - RJ

Antônio Costa

Doutor em Agronomia, pesquisador em manejo do solo do Instituto Agrônômico do Paraná - PR

Antônio Felix Domingues

Engenheiro agrônomo especializado em economia rural, coordenador

de articulação e comunicação da Agência Nacional de Águas – DF

Átila Torres Calvente

Economista, diretor de desenvolvimento agropecuário da Prefeitura Municipal de Petrópolis – RJ

Azeneth Eufrausino Schuler

Pós-doutora pelo Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM), doutora em energia nuclear na agricultura, pesquisadora em manejo de bacias hidrográficas da Embrapa Solos – RJ

Beata Eموke Madari

Doutora em ciência do solo e nutrição de plantas, pesquisadora em matéria orgânica do solo da Embrapa Arroz e Feijão – GO

Bruno José Rodrigues Alves

Doutor em agronomia (Ciência do Solo), pesquisador em dinâmica e quantificação de N no solo da Embrapa Agrobiologia e professor da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - RJ

Celso Vainer Manzatto

Doutor em produção vegetal, chefe geral da Embrapa Meio Ambiente – SP

Cláudia Pozzi Jantalia

Doutora e pós-doutora em fitotecnia, pesquisadora em manejo e tratos culturais da Embrapa Agrobiologia – RJ

Cristianny Villela Teixeira Gisler

Doutora em ciências biológica, especialista em recursos hídricos da Agência Nacional de Águas – DF

Daniel Vidal Pérez

Doutor em química analítica inorgânica, chefe de P&D da Embrapa Solos - RJ

Devanir Garcia dos Santos

Mestre em gestão econômica do meio ambiente, gerente de uso sustentável da água e do solo da Agência Nacional de Águas – DF

Doracy Pessoa Ramos

Doutor em Agronomia, professor titular da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – RJ

Edson Alves de Araújo

Doutor em solos e nutrição de plantas, assessor técnico da Secretaria Estadual de Meio Ambiente do Estado do Acre - AC

Eduardo Delgado Assad

Doutor em hidrologia e especialista em sensoriamento remoto, membro do Comitê Científico do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas e pesquisador em mudanças climáticas e seus impactos na agricultura da Embrapa Informática Agropecuária - SP

Eduardo de Sá Mendonça

Pós-doutor em bioquímica do solo e em modelagem da matéria orgânica do solo, professor associado da Universidade Federal do Espírito Santo - ES

Elemar Antonino Cassol

Doutor em agronomia, professor associado em ciência do solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - RS

Fabiano de Carvalho Balieiro

Doutor em agronomia, pesquisador em ciclagem de nutrientes da Embrapa Solos - RJ

Falberni de Souza Costa

Doutor em ciência do solo, pesquisador em uso sustentável dos recursos naturais do centro de Pesquisa Agroflorestal do Acre - Embrapa Acre - AC

Gerson Cardoso da Silva Júnior

Doutor em hidrogeologia, professor adjunto do departamento de geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - RJ

Guilherme Montandon Chaer

Doutor em ciência do solo, pesquisador em qualidade do solo da Embrapa Agrobiologia - RJ

Gustavo Henrique Merten

Doutor em recursos hídricos e saneamento ambiental e professor adjunto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - RS

Isabella Clerici De Maria

Doutora em solos e nutrição de plantas, pesquisadora em solos e recursos agroambientais do Instituto Agronômico de Campinas - SP

Jean Paolo Gomes Minella

Doutor em recursos hídricos e saneamento ambiental, professor adjunto do departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria - RS

Jesus Fernando Mansilla Baca

Doutor em geografia, pesquisador em cartografia da Embrapa Solos e professor do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckov da

Fonseca – RJ

John Landers

Mestre em irrigação, consultor internacional em agricultura conservacionista e coordenador para assuntos internacionais e novos projetos da Associação de Plantio Direto no Cerrado – MG

José Miguel Reichert

Pós-doutor em física do solo, professor titular do departamento de solos da Universidade Federal de Santa Maria – RS

Julian Dumanski

Cientista sênior do Department of Agriculture and Agri-Food, Membro-consultivo do Agricultural Institute of Canada e Canadian Society of Soil Science e consultor para o Banco Mundial e várias agências da ONU - Canadá

Juliana Magalhães Menezes

Doutora em geologia e professora da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – RJ

Júlio César de Lucena Araújo

Mestre em agronomia (Ciência do Solo) pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - RJ

Kátia Leite Mansur

Mestre especializada em gestão ambiental, geóloga do Serviço Geológico do Estado do Rio de Janeiro -RJ

Leonardo Ciuffo Faver

Engenheiro, secretário municipal de agricultura, abastecimento e produção da Prefeitura Municipal de Petrópolis – RJ

Lúcia Helena Cunha dos Anjos

Pós-doutora em ciência do solo, professora associada no departamento de solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - RJ

Lucieta Guerreiro Martorano

Doutora em agrometeorologia, pesquisadora em agrometeorologia da Embrapa Amazônia Oriental – PA

Luís Henrique de Barros Soares

Doutor em biologia celular e molecular, pesquisador biotecnologia e microbiologia industrial da Embrapa Agrobiologia - RJ

Luiz de Moraes Rêgo Filho

Pós-doutor em favorabilidades de terras, doutor em ciência e produção vegetal e, pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro - RJ

Marcos Gervásio Pereira

Doutor em agronomia (Ciência do Solo), professor associado do departamento de solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - RJ

Margareth Simões Penello Meirelles

Doutora em geoinformática e planejamento ambiental, pesquisadora da Embrapa Labex Europe e professora de geomática da Universidade Estadual do Rio de Janeiro – RJ

Maria Victoria Ramos Ballester

Pós-doutora pela universidade de São Paulo, doutora em ecologia e recursos Naturais, pesquisadora e professora associada do CENA – ESALQ - Universidade de São Paulo - SP

Mateus Rosas Ribeiro

Doutor em ciência do solo, professor associado do departamento de solos da Universidade Federal Rural de Pernambuco - PE

Mônica Regina da Costa Marques

Doutora em química orgânica, professora adjunta do instituto de química da Universidade do Estado do Rio de Janeiro -RJ

Nestor Bragagnolo

Mestre em agronomia, funcionário da EMATER-PR e chefe na Divisão de Projetos e Ações Estratégicas da Secretaria do Estado do Planejamento e Coordenação Geral do Paraná - PR

Paulo Emilio Ferreira da Motta

Doutor em ciência do solo, pesquisador em pedologia e zoneamento da Embrapa Solos - RJ

Paulo Guilherme Salvador Wadt

Doutor em solos e nutrição de plantas, pesquisador da Embrapa Acre e professor permanente em agronomia e produção vegetal da Universidade Federal do Acre - AC

Pedro Luiz de Freitas

Pós-doutor pelo IRD/França, doutor em ciência do solo, pesquisador em manejo de solos em sistema plantio direto da Embrapa Solos – RJ

Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado

Pós-doutor pela Rothamsted Research, doutor em solos e nutrição de plantas, pesquisador em manejo do solo em sistema plantio direto da Embrapa Arroz e Feijão - GO

Rachel Bardy Prado

Doutora em ciências da engenharia ambiental (Recursos Hídricos), pesquisadora em geotecnologias e monitoramento ambiental da Embrapa Solos – RJ

Raphael Bragança Alves Fernandes

Pós-doutor pela Wageningen University, doutor em solos e nutrição de plantas, professor adjunto do departamento de solos da Universidade Federal de Viçosa – MG

Renato Linhares de Assis

Doutor em economia aplicada, pesquisador da Embrapa Agrobiologia e professor colaborador da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – RJ

Reynaldo Luiz Victoria

Pós-doutor pela University of Washington, doutor em agronomia, pesquisador e professor titular do CENA - ESALQ - Universidade de São Paulo - SP

Robert Michael Boddey

Doutor em agricultura, pesquisador em ciência do solo e microbiologia da Embrapa Agrobiologia e professor credenciado da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - RJ

Rodrigo Tavares dos Santos

Economista, especialista em gestão e integrante do grupo de pesquisa “índices e indicadores na análise ambiental” da Universidade Estadual do Rio de Janeiro e analista de normativos do Banco do Brasil - RJ

Sandro Eduardo Marschhausen Pereira

Mestre em geomática, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente - SP

Segundo Sacramento Urquiaga Caballero

Doutor em solos e nutrição de plantas, consultor/acessor técnico-científico da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro e consultor ad hoc do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pesquisador em fixação biológica do N da Embrapa Agrobiologia - RJ

Selmo de Oliveira Santos

Zootecnista, secretário municipal de agricultura de Nova Friburgo – RJ

Uebi Jaime Naime

Engenheiro agrônomo, pesquisador aposentado em pedologia e zoneamento da Embrapa Solos – RJ

Prefácio

A décima sétima edição da reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da água teve como tema “*Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais*” e estava inserida nas atividades do Ano Internacional do Planeta Terra. Mais do que isso, a inserção e a compreensão do solo no contexto das mudanças ambientais foi de suma importância para a definição das diretrizes e estratégias necessárias para a manutenção do solo e de suas propriedades, e em última análise, o futuro da nossa sociedade e do nosso país.

O evento também foi uma oportunidade especial para a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS) reconhecer e agradecer a comunidade de cientistas de solo que exercem suas atividades no Estado do Rio de Janeiro. Além das contribuições científicas e da nossa sociedade ter sido aqui fundada em 1847, estes colegas têm nos agraciado nos últimos anos com o empenho na organização de um congresso brasileiro, uma FertBio e outros eventos relacionados, com uma clara demonstração do respeito com que lidam com a Ciência do Solo e a importância desta ciência no desenvolvimento científico e social deste país.

Nossa sociedade tem se renovado com a juventude, mantendo o respeito e a admiração pelo trabalho desenvolvido pelos nossos mestres, evoluindo e inovando na busca de soluções para um mundo novo que se apresenta a cada dia. A presente publicação é uma clara demonstração de como a nossa ciência pode ser útil e atual. Além dos

assuntos relacionados ao tema geral, este livro apresenta a opinião de cientistas respeitados e consagrados pelas suas idéias, com destaque para assuntos como o potencial da expansão agrícola e da agroenergia no país, em face às novas mudanças ambientais e do mercado, à gestão do solo e da água no âmbito dos serviços ambientais e à transferência de tecnologia, entre outros. Com 27 capítulos, o livro é mais uma demonstração de competência desta valorosa equipe, que organizou este encontro tão produtivo e pertinente, e que soube com maestria escolher seus palestrantes, que são os principais autores desta obra. A todos, e em especial a balzaquiana Embrapa Solos, o sincero agradecimento e o reconhecimento da SBCS pelo excelente trabalho realizado.

"I have gathered a garland of other men's flowers, and nothing is mine but the cord that binds them" (Michel de Montaigne, 1533-1592)

Flávio Anastácio de Oliveira Camargo
Presidente da SBCS

Apresentação

Neste livro serão apresentadas as principais considerações abordadas durante a XVII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água - RBMCSA. O presente volume inclui quase todas as palestras apresentadas durante o evento com o diferencial de que a maioria dos capítulos foi atualizada pelos autores, além de terem sido incluídos capítulos inéditos sobre os grandes temas.

Desde sua origem, há mais de 25 anos, as diferentes edições da Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água foram marcadas pela busca de soluções alternativas e mobilização da sociedade para o desenvolvimento de sistemas agrícolas conservacionistas.

A questão inicial era conter a erosão que vinha crescendo fortemente com o advento da revolução verde na década de 70, principalmente na região Sul do Brasil, devido à intensa mecanização, excessivo uso de agroquímicos e ausência de rotação de culturas. Para combater esse grave problema foi desenvolvido o sistema de plantio direto e o planejamento de uso das terras em microbacias hidrográficas.

Hoje, temos antigos e novos desafios a vencer, pois o Brasil possui aproximadamente, 65% do seu território com potencial agrícola, com mais de 5,5 milhões de km² podendo ser utilizados para a produção agropecuária. No entanto, novas fronteiras agrícolas continuam sendo abertas, pressionando remanescentes florestais e reservas naturais em todos os biomas brasileiros. Por exemplo, a expansão acelerada da pecuária bovina nas regiões Norte e Centro-

Oeste foram a grande responsável pela abertura de novas terras. A expansão da criação de bovinos ocorreu, em especial, pela disponibilidade de terras para formação de pastos plantados e de pastos naturais; pelas políticas de incentivos fiscais na década de 1970 (crédito rural, abertura de rodovias) e pela simbiose com a extração madeireira.

No que se refere à produção agrícola é importante destacar o desempenho das lavouras temporárias no uso e ocupação do solo. Ao se comparar áreas ocupadas com as pastagens (naturais e plantadas) e as dez principais culturas de lavouras temporárias e permanentes, observa-se que a ocupação de lavouras permanentes (5,9 Mha) é quase que 100 vezes inferior à área ocupada por lavouras temporárias (46,9 Mha), que por sua vez é cerca de 3,6 vezes inferior à área ocupada por pastagens (172 Mha), considerando os dados do Censo Agropecuário do IBGE de 2006.

No contexto do agronegócio, a soja, o milho e a cana-de-açúcar se destacam tanto pela área ocupada, como pela sua participação no PIB nacional. Projeções recentes realizadas pelo MAPA apontam para a continuidade da expansão de novas áreas destinadas a essas culturas, além de acentuado dinamismo da exportação dos seguintes produtos nos próximos anos: algodão, milho, soja, açúcar e etanol. Indicam ainda que o país será, em pouco tempo, o principal pólo mundial de produção de biocombustíveis, com destaque para a liderança na ocupação de novas áreas com cana-de-açúcar, cujo aumento esperado é de cerca 66% em área plantada até 2017. Este quadro aponta para uma intensa utilização dos solos brasileiros, com mudanças significativas na dinâmica de uso e cobertura das terras.

Dessa forma, o uso intensivo da terra em áreas frágeis promove tanto a desertificação no Nordeste como o assoreamento do Pantanal e a arenização na região Sul. No entanto, o manejo sustentável do ambiente vem sendo discutido, considerando as premissas sugeridas pela FAO, que as práticas usadas não devem implicar em perda de produtividade e de qualidade do solo e da água, assim como o sistema de manejo alternativo deve ser economicamente viável e socialmente aceitável.

Uma dessas alternativas podem ser os sistemas agroflorestais, capazes de promover a geração de renda e a recuperação ambiental.

Neste balanço entre degradação, recuperação, uso e conservação temos regiões onde o saldo é positivo, mas também temos muitas outras onde os impactos negativos vem causando miséria, êxodo rural e degradação dos recursos naturais.

O ano de 2008 foi escolhido pela ONU como o Ano Internacional do Planeta Terra, na tentativa de sensibilizar a população mundial para a necessidade de se reverter as mudanças ambientais que estamos vivendo. Neste sentido, o tema escolhido para a XVIIRBMCSA foi: MANEJO DO SOLO E DA ÁGUA NO CONTEXTO DAS MUDANÇAS AMBIENTAIS, que reforça a responsabilidade dos cientistas que estudam o solo e sua ambiência, na medida em que a demanda por alimentos, fibras e agroenergia também cresce, exercendo forte pressão sobre o meio ambiente.

Entre os principais desafios da comunidade científica, relacionada ao tema do presente livro, está o de contribuir para o manejo sustentável do solo e da água, gerando e transferindo à sociedade conhecimento e tecnologia capazes de suprir as demandas advindas das mudanças climáticas, além de promover a prestação de serviços ambientais, assegurando a preservação do solo, da água e da biodiversidade.

Os organizadores

Sumário

PARTE I

Manejo e conservação do solo e da água e das mudanças ambientais.....

23

Capítulo 1

Aspectos gerais sobre o manejo e conservação do solo e da água e as mudanças ambientais - *Aluísio Granato de Andrade, Pedro Luiz de Freitas e John Landers.....*

25

Capítulo 2

Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais – Panorama Brasil - *Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado, Beáta Eموke Madari e Luiz Carlos Balbino.....*

41

Capítulo 3

Soil conservation in a changing world - *Julian Dumanski.....*

53

PARTE II

Expansão da agricultura brasileira e relações com as mudanças ambientais.....

79

Capítulo 1 - Aspectos gerais relacionados à expansão da agricultura brasileira - *Lúcia Helena Cunha dos Anjos e Marcos Gervasio Pereira.....*

81

Capítulo 2 - Pedologia e Interpretações para o Manejo e a Conservação do Solo e da Água - *Doracy Pessoa Ramos e Luiz de Moraes Rego Filho.....*

85

Capítulo 3 - Geotecnologias e modelos aplicados ao manejo e conservação do solo e da água - *Isabella Clerici De Maria.....*

95

Capítulo 4 - Processos e modelagem da erosão: da parcela à bacia hidrográfica - *Jean Paolo Gomes Minella, Gustavo Henrique Merten, José Miguel Reichert e Elemar Antonino Cassol.....*

105

Capítulo 5 - Remediação do solo e da água: aspectos gerais - <i>Daniel Vidal Pérez e Mônica Regina Marques Palermo de Aguiar.....</i>	123
Capítulo 6 - Planejamento de uso da terra em microbacias hidrográficas - <i>Nestor Bragagnolo.....</i>	137
Capítulo 7 - Manejo de fertilizantes e resíduos na Amazônia Sul- Occidental - <i>Paulo Wadt, Edson Alves de Araújo e Falberni de Souza Costa.....</i>	141
Capítulo 8 - Manejo do solo e da água em perímetros irrigados da região Nordeste do Brasil - <i>Mateus Rosas Ribeiro.....</i>	171
PARTE III - Novos cenários com a expansão da agroenergia.....	181
Capítulo 1 - Reflexões sobre a produção de biocombustíveis e a conservação dos biomas brasileiros - <i>Fabiano de Carvalho Balieiro e Lucieta Guerreiro Martorano.....</i>	183
Capítulo 2 - Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar: abordagem metodológica para integração temática de grandes áreas territoriais - <i>Celso Vainer Manzatto, Jesus Fernando Mansilla Bacca, Sandro Eduardo Marschhausen Pereira, Eduardo Delgado Assad, Margareth Simões Penello Meirelles, Angel Filiberto Mansilla Baca, Uebi Jaime Naime e Paulo Emílio Ferreira da Motta.....</i>	193
Capítulo 3 - Agroeneria e sustentabilidade do solo e da água - <i>Maria Victoria Ramos Ballester, Reynaldo Luiz Victoria e Alex Vladimir Krusche.....</i>	215
PARTE IV - Manejo e conservação do solo e da água no contexto dos serviços ambientais.....	237
Capítulo 1 - Serviços ambientais no Brasil: do conceito à prática - <i>Ana Paula Dias Turetta, Rachel Bardy Prado e Azeneth Eufrausino Schuler.....</i>	239

Capítulo 2 - Manejo e conservação de solos no contexto dos serviços ambientais - <i>Eduardo de Sá Mendonça e Raphael Bragança Alves Fernandes</i>	255
Capítulo 3 - Sistemas conservacionistas de uso do solo - <i>Ademir Calegari e Antônio Costa</i>	279
Capítulo 4 - Métodos de integração de indicadores para avaliação da qualidade do solo - <i>Guilherme Montandon Chaer</i>	309
Capítulo 5 - Índices de qualidade de água: métodos e aplicabilidade - <i>Juliana Magalhães Menezes, Rachel Bardy Prado, Gerson Cardoso da Silva Júnior e Rodrigo Tavares dos Santos</i>	325
Capítulo 6 - Gestão de recursos hídricos na agricultura: O Programa Produtor de Água - <i>Devanir Garcia dos Santos, Antônio Félix Domingues e Cristianny Villela Teixeira Gisler</i>	353
Capítulo 7 - Mudanças ambientais: sequestro de carbono e emissão de gases de efeito estufa pelo solo - <i>Segundo Urquiaga, Bruno José Rodrigues Alves, Claudia Pozzi Jantalia, Luis Henrique de Barros Soares e Robert Michael Boddey</i>	377
PARTE V - Difusão do conhecimento e envolvimento da sociedade em manejo e conservação do solo e da água	389
Capítulo 1 - Divulgação do conhecimento científico e a sensibilização da sociedade em relação ao manejo e conservação do solo e da água - <i>Kátia Leite Mansur</i>	391
Capítulo 2 - Abordagem etnopedológica no auxílio de ações socioambientais: proposta de diagnóstico e gestão participativa dos recursos naturalizados na terra indígena Kraholândia - <i>Júlio César de Lucena Araújo, Lúcia Helena Cunha dos Anjos e Marcos Gervasio Pereira</i>	397

Capítulo 3 - Popularização das ciências da terra como estratégia para conservação de solo e água: o caso do Estado do Rio de Janeiro - <i>Kátia Leite Mansur</i>	415
Capítulo 4 - Pesquisa participativa na região Serrana Fluminense – experiência do Núcleo de Pesquisa e Treinamento para Agricultores da Embrapa em Nova Friburgo - <i>Renato Linhares de Assis e Adriana Maria de Aquino</i>	431
Capítulo 5 - Programa Associar - associativismo e desenvolvimento rural sustentável - <i>Selmo de Oliveira Santos</i>	451
Capítulo 6 - Políticas públicas, preservação e desenvolvimento do setor agropecuário: uma experiência em Petrópolis – RJ - <i>Átila Torres Calvente e Leonardo Ciuffo Faver</i>	461

Manejo e conservação do
solo e da água e as
mudanças ambientais

Parte I





Foto: Vinicius de Melo Benites
EMBRAPA SOLOS

Alúcio Granato de Andrade

Pedro Luiz de Freitas

John Landers

Introdução

O solo e a água são elementos fundamentais de sustentação dos sistemas agrícolas e naturais. Reverter o quadro de degradação de extensas áreas; otimizar o uso dos solos e da água, com potencial para aumentar a produção agrícola; contribuir para a mitigação de impactos ambientais e desenvolver novos insumos e sistemas de produção, capazes de promover a sustentabilidade ambiental, social e econômica pelas gerações presentes e futuras são alguns dos desafios para o manejo e a conservação do solo e da água para os diversos ambientes, usos e estado de degradação das terras.

Os primeiros esforços voltados à conservação do solo e da água, especialmente no Brasil, se concentraram nas práticas mecânicas de terraceamento, construção de curvas de nível e de canais escoadouros, plantio em nível ou em faixas e outros (SOBRAL FILHO et al., 1982). Durante algumas décadas, as práticas mecânicas adotadas no controle da erosão se mostraram insuficientes, especialmente na região sul do país (VIEIRA, 1994). Somente no início da década de 70 é que se percebeu a importância de manejar adequadamente o solo, evitando expô-lo aos efeitos das chuvas intensas do clima tropical e subtropical que predominam no Brasil, assim como a relevância da microbacia hidrográfica como unidade de planejamento conservacionista. Compreendeu-se que a sustentabilidade da produção agrosilvipastoril, garantindo a segurança alimentar e a preservação ambiental, estão associadas ao planejamento do uso da terra e do manejo do solo e da água, com a adoção de sistemas conservacionistas. Igualmente, as

perdas econômicas e ambientais, causadas pela erosão hídrica, foram os fatores motivadores da viabilização do Sistema Plantio Direto – SPD(FREITAS, 2002).

A evolução da conservação do solo e da água por meio do manejo ocorreu de forma a viabilizar a agricultura brasileira, dando sustentabilidade aos sistemas de produção agrosilvipastoris. Mas, somente a partir do início deste século, técnicos e agricultores se deram conta de que, além de minimizar o impacto ambiental da agricultura, mitigando as perdas de solo, água, nutrientes e matéria orgânica, estariam também contribuindo para o sequestro de carbono e reduzindo a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEEs). Sendo assim, é necessário também desenvolver sistemas de produção capazes de se adaptar às mudanças climáticas, garantindo a produção de alimentos, fibras e agroenergia e a manutenção de serviços ambientais. Neste sentido, o capítulo 2 desta parte apresentará, de forma mais aprofundada, o panorama brasileiro em relação ao Manejo e Conservação do Solo e da Água no Contexto das Mudanças Ambientais.

Como as alterações ambientais vêm ocorrendo globalmente, seja em função das ações antrópicas ou naturalmente, é preciso que as alternativas de mitigação dos problemas enfrentados sejam discutidas no âmbito internacional, até porquê a população mundial demanda recursos naturais e alimentos continuamente, que os países de forma isolada, não conseguem ser autosuficientes, recorrendo à importação de vários produtos para suprirem à esta demanda. Como exemplo da interdependência entre os países, no caso do setor agrícola, o mercado exterior é que rege, muitas vezes, a forma de produção agrícola, pois o produto poderá ter maior ou menor valor agregado ou aceitabilidade na exportação em função do sistema de produção praticado. E as questões ambientais e sociais têm sido consideradas de forma crescente neste processo. Desta forma, o capítulo 3 desta parte abordará o panorama internacional do Manejo e Conservação do Solo e da Água no Contexto das Mudanças Ambientais, apresentando iniciativas, programas e agendas que vêm discutindo recentemente este tema, contribuindo de forma definitiva para a sustentabilidade do planeta.

Sustentabilidade do solo

O aumento de áreas degradadas em regiões anteriormente produtivas tem sido constatado em diferentes regiões do Brasil. A erosão tem se apresentado sob todas as suas formas (laminar, sulcos e voçorocas), levando solo, sementes, adubos e agrotóxicos para os lagos, os rios até atingir o mar. O resultado é a perda de produção e o empobrecimento dos agricultores; o assoreamento e a contaminação dos corpos hídricos e o desmatamento para abertura de novas áreas de produção, causando perda da biodiversidade nos diferentes biomas brasileiros. Para evitar esta degradação é necessário planejar as atividades de produção agropecuária de acordo com a aptidão agrícola das terras, manejando o solo de acordo com suas fragilidades e potencialidades. Através de dados provenientes das mais diversas fontes do meio físico e biótico e de sistemas de informação capazes de integrar estes dados, é possível separar a paisagem em zonas, possibilitando planejar adequadamente o uso, a conservação e a recuperação das terras. Esta abordagem tem sido utilizada como importante instrumento de ordenamento territorial e planejamento de uso das terras. Exemplos como a inclusão do Zoneamento Agrícola na Política Agrícola Brasileira, do Programa do Zoneamento Ecológico-Econômico e a crescente demanda para realização de Zoneamentos Agroecológicos Estaduais vêm confirmando a importância de se desenvolver ações de planejamento em todas as regiões brasileiras.

Para o desenvolvimento de sistemas sustentáveis nas diferentes zonas agroecológicas é necessário a aplicação de técnicas conservacionistas adaptadas aos diferentes ambientes e sistemas de produção agropecuária, protegendo o solo e garantindo sua funcionalidade, como a troca de ar e calor, o armazenamento e a ciclagem de nutrientes, a decomposição da matéria orgânica, a regulação do fluxo de água, o movimento de materiais solúveis, servindo de filtro ou de tampão para elementos e compostos tóxicos.

Os sistemas conservacionistas associam a redução drástica do revolvimento do solo à rotação de diferentes usos e culturas; à manutenção permanente da cobertura do solo; ao manejo integrado de pragas, doenças e de plantas daninhas; à seleção de espécies vegetais e ao desenvolvimento de variedades e cultivares mais produtivas e

adaptadas; aos sistemas de adubação mais racionais; e à muitas outras tecnologias adaptadas aos diferentes sistemas de produção. Por serem desenvolvidos para as condições de solo e clima existentes em cada região, os sistemas conservacionistas vêm se tornando mais frequentes na paisagem, recuperando áreas degradadas e dando renda aos agricultores. Destacam-se, entre outros, os sistemas agroflorestais, a integração lavoura-pecuária-floresta e o sistema de plantio direto.

O manejo agroecológico desses sistemas privilegia práticas que garantem um fornecimento constante de matéria orgânica, fundamental para a construção da fertilidade do solo em seu sentido mais amplo. Ou seja, maneja-se o solo para estimular as atividades biológicas e para que cresçam plantas bem nutridas que forneçam alimentos balanceados e saudáveis. Este tipo de manejo procura priorizar o uso de recursos naturais renováveis, localmente disponíveis, diminuir a dependência do produtor por insumos externos e poupar recursos naturais não renováveis. Nesse contexto, o processo de fixação biológica de N_2 é uma estratégia importante para o fornecimento de nitrogênio, favorecendo a produção das culturas sem a necessidade de aplicação de fertilizante químico. Estas práticas agrícolas sustentáveis serão expostas e aprofundadas ao longo do presente livro.

A ampliação de pesquisas e do uso de práticas agroecológicas, considerando o planejamento regional e local, de forma participativa, permitirá, cada vez mais, que pequenos e grandes agricultores, em sistemas de produção familiar e empresarial, produzam alimentos e matérias primas de qualidade, e ainda promovam a conservação dos recursos naturais e se mantenham em suas regiões de origem.

Perspectivas globais de mudanças climáticas

A degradação ambiental, expressa como um declínio na qualidade da terra – solo, água, fauna e flora, ou na redução da produtividade potencial do solo, representa, especialmente através da redução do carbono total e da biomassa, uma preocupação importante sobre as emissões de GEEs para a atmosfera (ESWARAN et al., 2001).

No entanto, a grande variabilidade espacial e temporal do uso da terra e manejo do solo em diferentes ecossistemas, dificulta a

estimativa das emissões de GEEs reais (VERCHOT, 2007). Isto é especialmente problemático para a estimativa dos GEEs que não o CO₂ como o óxido nitroso (N₂O) e o metano (CH₄) (VERCHOT et al., 1999; VERCHOT et al., 2000; DAVIDSON et al., 2000).

A valorização do preço das *commodities* contribuem para aumentar as pressões para o desmatamento, principalmente devido às atividades com pecuária, o que está promovendo o avanço da fronteira agrícola para regiões como a Amazônia (BANCO MUNDIAL, 2003). O desmatamento provoca além da perda da biodiversidade, erosão do solo, diminuição das taxas de infiltração da água e a consequente recarga dos aquíferos, contribuindo para agravar o aquecimento global (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007). Entre 60% a 75% das emissões brasileiras de gás carbônico e metano na atmosfera são provenientes dos desmatamentos da floresta tropical, valores que colocam o país entre os cinco maiores emissores do mundo. Este padrão de emissões de gases do efeito estufa (GEEs) é diferente dos países mais industrializados, nos quais a queima de combustível fóssil é a principal fonte do gás. Tecnologias e maior conhecimento sobre os sistemas de produção agropecuária para os trópicos, ao lado de políticas públicas adequadas e o cumprimento da legislação ambiental, contribuem para a redução do desmatamento.

Outra fonte de preocupação é a quantidade e qualidade dos recursos hídricos, uma vez que a água constitui tanto um bem essencial à vida quanto um precioso insumo para diversas atividades econômicas. Entre os diversos usos econômicos e sociais que competem pela apropriação ou utilização dos recursos hídricos no Brasil, a agricultura consome a maior parte da água, seguida do setor industrial e depois pelas residências. Tais usos apresentam características bastante diferenciadas quanto aos efeitos que produzem sobre o ciclo hidrológico, bem como em relação aos mananciais utilizados e à forma de intervenção sobre eles.

Em relação à diminuição das reservas de petróleo e à possibilidade da escassez, aliada à crescente preocupação com a preservação do meio ambiente, os governos e organismos internacionais têm direcionado esforços na substituição dos combustíveis fósseis. A União Européia, por exemplo, convocou os 27 países membros a trocar pelo menos 10% do volume de combustíveis

fósseis usados em veículos por biocombustíveis até 2020. Mais do que isso, os líderes europeus se comprometeram a diminuir as emissões de dióxido de carbono (CO₂) em 20% em relação aos níveis de 1990 no mesmo prazo. No programa de metas energéticas anunciadas no início de 2007, os EUA estabeleceram a substituição da gasolina consumida por biocombustíveis, podendo chegar a 20% em dez anos, como noticiado pela imprensa¹. Com o uso crescente de recursos renováveis, abrem-se oportunidades da participação do Brasil no mercado de bioenergia.

Associe-se a isso, ainda, a demanda crescente pela produção de bioenergia. Dessa forma, tem havido uma expansão do consumo mundial de grãos, carne e leite que impactou diretamente os preços internacionais dos principais produtos e a rentabilidade do mercado agrícola. Assim, nos últimos anos, a importância do agronegócio para a geração de renda na economia mundial foi intensificada. Dados da *United Nations Conference on Trade and Development* (UNCTAD) mostram que o preço das *commodities* agrícolas cresceram 50% entre 2000 e 2006. Observando-se o panorama mundial com aumentos significativos da demanda por alimentos, agroenergia e outras matérias primas, identificam-se grandes oportunidades para o desenvolvimento da agricultura tropical.

O papel do Sistema Plantio Direto na mitigação da emissão dos GEEs

Como um sistema de manejo do solo, o Sistema Plantio Direto incorpora uma mudança radical nas práticas agrônômicas, eliminando o revolvimento do solo e promovendo a agrobiodiversidade, através da rotação de culturas e de diferentes usos da terra, além de manter o solo coberto com culturas em crescimento ou com resíduos vegetais. A esses requisitos são associados, ainda, o manejo integrado de pragas, doenças e plantas invasoras (SALTON et al., 1999; FREITAS, 2002). Atende assim os princípios essenciais de sustentabilidade da agricultura nos trópicos e sub-tropicos (MACHADO; FREITAS, 2004; LANDERS et al., 2001). O manejo conservacionista visa a otimização do potencial produtivo das

¹ DO 'ouro negro' a uma nova matriz energética. Disponível em: <http://veja.abril.com.br/idade/exclusivo/energias_alternativas/contexto1.html>. Acesso em: 11 jun. 2010

plantas cultivadas com a melhoria das condições ambientais (BERNARDI et al., 2003).

Com base em dados obtidos em diferentes condições brasileiras, Bayer et al. (2006) estimaram, nas lavouras de grãos cultivadas em SPD, um acúmulo de carbono no solo da ordem de 350 kg/ha/ano, em uma profundidade de 20 cm, na região dos cerrados. Esse acúmulo pode chegar a 480 kg/ha/ano no Sul do Brasil. Aplicando os resultados na área da adoção do SPD no Brasil, Freitas et al. (2007) estimaram uma remoção de CO₂ da atmosfera da ordem de 29 a 40 milhões t/ano, o que os autores consideraram insignificante em comparação com as emissões anuais totais do planeta, na ordem de 29 bilhões de toneladas de CO₂. Considerando o potencial de crescimento da agricultura brasileira, especialmente com a produção de etanol e biodiesel, é razoável projetar uma área de 100 milhões de ha com a adoção de SPD, com um sequestro de carbono da ordem de 128-176 milhões de toneladas de CO₂ por ano, o que corresponde a 3 a 13% de todo o CO₂ emitido atualmente pelo desmatamento e pela mudança do uso da terra, estimada em 1,4 a 4,4 bilhões de toneladas de CO₂ por Lal (2004).

Em 2004, o SPD era adotado em mais de 95 milhões de ha em todo o mundo (DERPSCH, 2005). Cerca de 50% desta área era concentrada na América do Sul, principalmente no Brasil, Argentina e Paraguai. Nos EUA e Canadá eram encontrados 40% desta adoção, restando apenas 10% no resto do mundo. No Brasil a área ocupada com culturas anuais, especialmente grãos, onde houve a adoção total ou parcial do SPD era estimada em 25,5 milhões de ha no ano agrícola 2005/2006, dos quais 38% eram no Bioma Cerrado (FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 2010). A evolução da área de adoção do SPD é apresentada na Figura 1. Um balanço de emissão e sequestro dos GEEs nestas áreas indica uma expressiva redução na emissão de GEEs.

A principal contribuição da adoção do SPD para a mitigação da emissão de GEEs ocorre devido ao menor uso de fertilizantes, pesticidas e de óleo diesel (associado ao uso mais eficiente de máquinas, com menor manutenção). Soma-se a isto as condições sociais mais favoráveis encontradas e os menores índices de poluição do ar e da água.

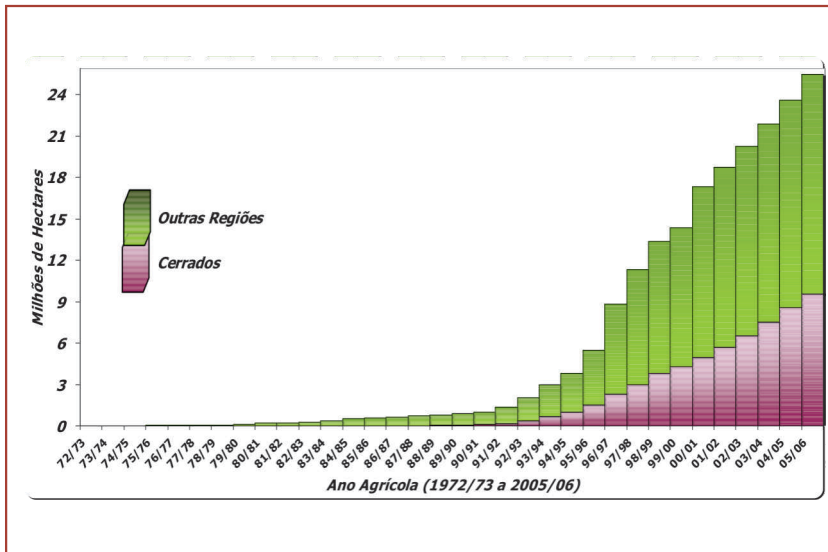


Figura 1. Evolução da área de adoção do Sistema Plantio Direto nos Cerrados e no Brasil (safras 1972/73 a 2005/2006)

Fontes: FEBRAPDP, 2010 e APDC – dados não divulgados.

O efeito da adoção do SPD na mitigação das emissões de GEEs, não somente de CO_2 , é reconhecido. Assim, além da menor emissão de CO_2 pelo sequestro de carbono no solo e na cobertura viva ou morta do solo, ocorre a redução no consumo de combustível, que pode chegar, em média a 60% bem como a preservação da vegetação nativa, pela mitigação do desmatamento. Tem-se ainda uma menor emissão de metano, pela gestão mais racional do gado e do arroz irrigado, e de óxido nitroso, pelo aumento da eficiência de fertilizantes, especialmente aqueles à base de nitrogênio. Neste caso, existem alguns trabalhos científicos publicados que relatam o aumento das emissões de N_2O no SPD, especialmente nos Estados Unidos e na Europa. Entretanto, as emissões de N_2O estão relacionadas com o manejo e o tipo de solo, especialmente com as propriedades relacionadas ao comportamento hídrico e à capacidade de redução de N_2O (HÉNAULT et al., 1998). Sendo necessário também o desenvolvimento de tecnologias e produtos condizentes com as particularidades dos solos tropicais, das quais se destacam, de forma geral, a baixa fertilidade natural, baixos teores de matéria orgânica, baixa capacidade de retenção de água e nutrientes para as plantas e a alta capacidade de imobilização de fósforo.

Estima-se que a queima de resíduos é responsável pela emissão anual de 26 Tg de NO_x; 0,8 (0,3-1,6) Tg de N₂O e 40 (20-80) Tg de CH₄ e 300-700 Tg de CO (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 1995). No Brasil, a adoção de princípios SPD na agricultura tem mitigado a maior parte das emissões de GEEs, estimada em 2,9 Tg, em 1990. 95% desta emissão é devido à queima da biomassa de cana-de-açúcar na produção de etanol e açúcar. Os esforços para mitigar a queima de biomassa através da adoção de colheita mecanizada (estimada em mais de 60% da área de plantio de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo), associada à rotação com culturas anuais ou pastagens na reforma do canavial e ao preparo reduzido em plantação de cana, são formas eficazes de mitigação das emissões de GEEs (SEGNINI et al., 2004; LA SCALA et al., 2006; LUCA et al., 2008).

Para a pecuária, as emissões de metano a partir de processos digestivos de todos os animais (especialmente ruminantes), têm sido estimada pela Agencia de Proteção Ambiental dos EUA (US-EPA) como sendo de 15% das emissões de metano ou total em todas as fontes. Há também uma importante contribuição de resíduos de animais em confinamento. No Brasil, as emissões de metano, representam mais de 95% das emissões totais de metano do país. Há uma grande variedade de práticas associadas ao manejo de pastagens, manejo do estrume e da alimentação, que podem reduzir as emissões e aumentar o sequestro de carbono (PRIMAVESI, 2007).

Há também o potencial de mitigação das emissões de GEEs através da mudança do uso da terra e da adoção de sistemas conservacionistas, tais como sistemas agroflorestais, integração lavoura - pecuária - floresta, entre outros, a serem apresentados e discutidos neste livro. Os sistemas baseados em SPD têm sido desenvolvidos e existe um grande esforço de difusão. A adoção de sistemas de recuperação de terras degradadas, principalmente pastagens de baixa capacidade de suporte e roturno à produção, são temas da atual política agrícola (BRASIL, 2008). Dados do final do século XX indicavam que, entre a Amazônia e o Cerrado, existiam aproximadamente 80 milhões de ha de pastagens quase todas degradadas ou em fase de degradação (SANO et al., 1999). Landers e Freitas (2001) propuseram um cenário onde a integração lavoura-pecuária, utilizando os princípios do SPD, tornam possível o aumento

de produção de grãos, fibras e de carne nas pastagens degradadas, com desmatamento zero, acomodando toda a expansão da demanda à atual fronteira agrícola para os próximos 20 anos ou mais.

Landers et al. (2001) estimaram os valores econômicos dos múltiplos impactos positivos gerados pela adoção de SPD. Os impactos econômicos considerados referem-se aos benefícios diretos aos agricultores (aumento de produtividade das culturas devido adoção do SPD e economia de energia de bombeamento em áreas irrigadas), bem como os benefícios indiretos em relação à redução das despesas públicas, decorrentes da redução dos efeitos da exploração agrícola ou da erosão do solo e do assoreamento (manutenção de estradas, tratamento de água, tempo e custos de dragagem do reservatórios e outros.). Os impactos ambientais também foram avaliados, incluindo a recarga de aquíferos, devido ao aumento da infiltração de água no solo, menor emissão de CO₂ pela economia de óleo diesel, e sequestro de carbono no solo e em resíduos mantidos na superfície. Os autores estimaram que, se o Brasil utilizasse corretamente o SPD nos 15 milhões de hectares em que a técnica ocupava quando dos estudos, o sequestro de carbono representaria um incremento de US\$ 1,5 bilhão por ano na economia nacional, a custo zero.

Há outros benefícios indiretos, tais como o aumento da variedade e do número de meso e micro-fauna do solo; a melhoria da estrutura, permeabilidade, capacidade de retenção de umidade e da estabilidade do solo e o aumento da ciclagem de matéria orgânica no solo; bem como o armazenamento de nutrientes, liberando-os gradualmente para as culturas. Dentro de alguns anos, essas práticas resultarão em um significativo aumento da produtividade do solo e aumento da eficiência de fertilizantes, implicando em uma redução substancial das emissões de GEEs em toda cadeia de produção de fertilizantes.

A adoção de princípios de agricultura conservacionista contribui para o aumento da biodiversidade e está ligada à fertilidade do solo e ao sequestro de carbono. A biodiversidade acima e no solo varia com as mudanças de uso da terra ao longo do tempo. Cerca de 1,6-2,0 bilhões de toneladas por ano são atribuídas ao desmatamento, mal manejo do solo e degradação da terra. Esta fonte de emissão pode ser mitigada pela intensificação da agricultura em terras já desmatadas,

reduzindo o desmatamento e melhorando as práticas agrícolas e florestais pela adoção de SPD.

Um fator chave para promover o aumento do estoque de carbono no solo é a forma como o SPD é realizado integrando as melhores práticas de manejo disponíveis para atingir um eficaz controle da erosão, de uma forma sustentável e competitiva (FREITAS et al., 2002).

Considerando a agricultura brasileira, um cenário otimista foi apresentado por Freitas e Manzatto (2002), com uma taxa anual de adoção de SPD de 21%, permitindo chegar a 100% da área total anual em cinco anos. Para alcançar esse objetivo, as seguintes assunções foram feitas:

- aceitação pela sociedade e governo da importância dos pagamentos de serviços ambientais aos agricultores e / ou os incentivos ao trabalho de pesquisa, serviços de extensão e de crédito agrícola;
- decodificação de conhecimentos de investigação existentes para uso por técnicos e agricultores;
- criação de unidades de demonstração participativa;
- incentivos para reflorestamento de áreas frágeis, identificados pela avaliação do risco de erosão e;
- zoneamento agroecológico para determinar o uso da terra aceitável, de acordo com classes de aptidão agrícola das terras, utilizando parâmetros modificados para incorporar SPD sustentável e sistemas de gestão da conservação.

Complementando este cenário, existe a possibilidade de garantir a segurança alimentar com a renovação de pastagens degradadas, estimadas em mais de 80 milhões de ha somente na área tropical do Brasil (SANO et al., 1999; CASSALES; MANZATTO, 2002).

No que tange ao desempenho do Brasil perante tratados internacionais, os quais estão entrando em fase de maior rigor para os países em desenvolvimento, fica clara a necessidade de reconhecimento financeiro de ações conservacionistas executadas pelos agricultores. Tecnologias já existentes e validadas, passíveis de serem adotadas e geradoras de impactos positivos, com ênfase à mitigação do aquecimento global e à perda de biodiversidade, teriam sua adoção muito mais desejável e factível. Para isto, é necessário o

estabelecimento de protocolos para o sequestro de carbono em solos agrícolas e, preparando para o futuro, os balanços de CO₂ equivalentes. Isto exige a formação de grupos de trabalho para a formulação de posições para cada um dos cinco biomas brasileiros. Outros serviços ambientais a serem considerados são: (a) controle de erosão e seus impactos; e, (b) o desmatamento evitado pela intensificação do uso da terra.

Referências bibliográficas

BANCO MUNDIAL. **Causas do desmatamento da Amazônia brasileira**. Brasília: Banco Mundial, 2003. 100 p.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two brazilian cerrado soils under no-till. **Soil and Tillage Research**, v. 86, n. 2, p. 237-245, apr. 2006.

BERNARDI et al. **Correção do solo e adubação no sistema de plantio direto nos cerrados**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 22 p. (Embrapa Solos. Documentos, 46).

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Agrícola e Pecuário 2008-2009**. Brasília: MAPA, 2008. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/images/MAPA/arquivos_portal/PAP%202008_09%20K.pdf>. Acesso em: 16 mai 2010.

CASSALES, F. L. G.; MANZATTO, C. V. Aspectos gerais da dinâmica de uso da terra. In.: **EROSÃO em terras agrícolas**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. p. 31-45.

DAVIDSON, E. A.; KELLER, M.; ERICKSON, H. E.; VERCHOT, L. V.; VELDKAMP, E. A cross-site test of a conceptual model of nitrous oxide and nitric oxide emissions from soils. **BioScience**, v. 50, p. 667-680, 2000.

DERPSCH, R. The extent of Conservation Agriculture adoption worldwide: Implications and impact. In: **WORLD CONGRESS ON**

CONSERVATION AGRICULTURE, 3., 2005, Nairobi, KY. **Proceedings**. Nairobi: [WOCAT], 2005.

ESWARAN, H.; LAL, R.; REICH, P. F. Land degradation: an overview. In: BRIDGES, E. M.; HANNAM, I. D.; OLDEMAN, L. R.; PENING DE VRIES, F. W. T.; SCHERR, S. J.; SOMPATPANIT, S. (Ed.). Responses to land degradation. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LAND DEGRADATION AND DESERTIFICATION, 2., 2001, Khon Kaen. **Proceedings**. New Delhi: Oxford Press, 2001.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. Disponível em: <<http://www.febrapdp.org.br/>>. Acesso em: 18 mai. 2010.

FREITAS P. L. de; KLIEMANN, H. J.; BENITES, V. de M. Indicadores de qualidade do solo no sistema plantio direto. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 8., 2002, Águas de Lindóia. [Anais...] Águas de Lindóia. : FEBRAPDP: SAA-SP, 2002. p. 101-103.

FREITAS, P. L. de; MARTIN-NETO, L.; MANZATTO, C. V. Solos: além de tudo, sequestro de carbono. **Agroanalysis**, v. 27, n. 4, p. E15-E16, abr. 2007.

FREITAS, P. L. de; MANZATTO, C. V. Cenários sobre a adoção de práticas conservacionistas baseadas no plantio direto e seus reflexos na produção agrícola e na expansão do uso da terra. In: USO agrícola dos solos brasileiros. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002.

HÉRNAULT, C.; DEVIS, X.; PAGE, S.; JUSTES, E. REAU, R.; GERMON, J. C. Nitrous oxide emission under different soil and land management conditions. **Biol. Fertil. Soils**, v. 26, p.199–207, 1998.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Second assessment: climate change report**. [Bracknell]: IPCC, 1995. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-1995/ipcc-2nd-assessment/2nd-assessment-en.pdf>>. Acesso em 18 mai. 2010.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2007: mitigation**. Cambridge: Cambridge Press, 2007. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

LA SCALA, N.; BOLONHEZI, D.; PEREIRA, G. T. Short-term soil CO₂ emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugar cane area in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 91, p. 244-248, 2006.

LAL, R. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. **Science**, v. 304, p. 1623-1627, 2004.

LANDERS, J. N.; BARROS, G. S.; ROCHA, M. T. de; MANFRINATO, W. A.; WEISS, J. Environmental impacts of zero tillage in Brazil: a first approximation. In: WORLD CONGRESS ON CONSERVATION AGRICULTURE, 1., 2001, Madrid. **Conservation agriculture: a worldwide challenge: proceedings**. Madrid: FAO: ECAF, 2001a. p. 317-26.

LANDERS, J. L.; FREITAS, P. L. de. Preservação da vegetação nativa nos trópicos brasileiros por incentivos econômicos aos sistemas de integração lavoura x pecuária com plantio direto. In: SIMPÓSIO SOBRE ECONOMIA E ECOLOGIA, 2001, Belém, PA. [**Anais...**]. Belém, PA: [s. n.], 2001b.

LUCA, E. F. de; FELLER, C.; CERRI, C. C.; BARTHÈS, B.; CHAPLOT, V.; CAMPOS, D. C.; MANECHINI, C. Avaliação de atributos físicos e estoques de carbono e nitrogênio em solos com queima e sem queima de canavia. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. Viçosa, v. 32, n. 2, 2008.

MACHADO, P. L. O. de A., FREITAS, P. L. de. No till farming in Brazil and its impact on food security and environmental quality. In: LAL, R.; HOBBS, P.; UPHOFF, N.; HANSEN, D. **Sustainable Agriculture and the Rice-Wheat System**. New York: Marcel Dekker Inc., 2004. p. 291-310.

PRIMAVESI, O. **A pecuária de corte brasileira e o aquecimento global**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007. 43 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Documentos, 72).

RAMALHO FILHO, A.; PEREIRA, L. C. **Aptidão agrícola das terras do Brasil**: potencial de terras e análise dos principais métodos de avaliação. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1999. 36 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).

SALTON, J. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACHADO, L. A. Z.; URCHEI, M. A.; OLIVEIRA, H.; MELO FILHO, G.; HERNANI, L. C.; BROCH, D. L.; FREITAS, P. L. de; MUSSURY, R. M.; RICHETTI, A. Environmental impact of intensive grain and beef production systems in the brazilian western region. In: KEATING, B. A.; MCCOWN, R. L. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SYSTEMS APPROACHES FOR AGRICULTURAL DEVELOPMENT, 3., 1999, Lima. **Advances in farming systems analysis**: proceedings. Lima: IPC, 2001. 1 CD-ROM.

SANO, E. E.; BARCELLOS, A. O., BEZERRA, H. S. **Área e distribuição espacial de pastagens cultivadas no cerrado brasileiro**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999. (Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 3).

SEGNINI, A.; MILORI, D. M. B. P.; GALETI, H. V. A.; SIMOES, M. L.; SILVA, W. T. L.; CERDEIRA, A. L.; BOLONHEZI, D.; MARTIN-NETO, L. Evaluation of carbon sequestration in brazilian area sugar cane under different tillage systems. In: INTERNATIONAL MEETINGS OF IHSS, 12., 2004, Águas de São Pedro. **Humic substances and Soil and Water Environment**: Anais. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2004. p. 14-16.

SOBRAL, F. R. M.; MADEIRA NETTO, J. S.; FREITAS, P. L. de; SOUZA, R. L. P. de. **Práticas de conservação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1980. 88 p. (EMBRAPA-SNLCS. Miscelânea, 3).

VERCHOT, L. V. DAVIDSON, E. A; CATTÂNIO, J. H; ACKERMAN, I L. Land-use change and biogeochemical controls of methane fluxes in soils of

eastern Amazonia. **Ecosystems**, v. 3, p. 41-56, 2000.

VERCHOT, L. V. **Opportunities for climate change mitigation in agriculture**: a report to the UNFCCC Secretariat: Financial and Technical Support Programme. Nairobi: World Agroforestry Centre, 2007. 69 p. Disponível em:

<http://unfccc.int/files/cooperation_and_support/financial_mechanisms/application/pdf/verchot.pdf>. Acesso em 20 mar. 2010.

VERCHOT, L. V. DAVIDSON, E. A; CATTÂNIO, J. H; ACKERMAN, I L.; ERICKSON, H. E.; KELLER, M. Land-use change and biogeochemical controls of nitrogen oxide emissions from soils in eastern Amazonia. **Global Biogeochemical Cycles**. v. 13, p. 31-46, 1999.

VIEIRA, M. J. Embasamento técnico do sub-programa de manejo e conservação dos solo-Paraná Rural. In: PARANÁ. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. **Manual técnico do subprograma de manejo e conservação do solo**. 2. ed. Curitiba: IAPAR: SEAB, 1994.

Manejo e conservação do solo e água no contexto das mudanças ambientais – Panorama Brasil

02

Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado
Beáta Eموke Madari
Luiz Carlos Balbino

Introdução

No Brasil, apesar dos sucessivos decretos e cartas régias do governo colonial iniciadas em 1713 com o objetivo de pôr fim ao indiscriminado desmatamento por meio do fogo que facilitava a busca de ouro e prata ou a implatação da agricultura, a devastação não foi interrompida e, em 1791-1792, houve a lendária *grande seca* da Bahia ao Ceará (CUNHA, 2001). O ano de 1824 foi, talvez, o ano da primeira grande constatação de problema de conservação do solo no Brasil com sérias consequências para a população rural e urbana, particularmente para a capital do país. Foi neste ano que se registrou a primeira grande seca na cidade do Rio de Janeiro (SILVA et al., 2008). O uso agrícola para produção de café continuou sem atenção para a conservação do solo e água resultando em deslizamentos de encostas e assoreamento de rios. Em 1844, após outra grande seca iniciaram-se as ações de conservação e restauração nas bacias dos Rios Carioca e Maracanã propostas pelo Ministro Almeida Torres. Entre 1861 e 1873, Major Manuel Gomes Archer foi o grande responsável pelas ações de recuperação das áreas degradadas e a proteção de mananciais com a revegetação do Corcovado, Silvestre e Paineiras que resultaram no abastecimento de chafarizes da Carioca. A cidade do Rio de Janeiro, atualmente, apesar de ainda apresentar problemas quanto ao uso do solo, possui a Floresta da Tijuca, rica em biodiversidade com cerca de 30 mil km².

A situação anteriormente descrita destaca o histórico conflito entre o uso do solo para a agricultura e os serviços ambientais. A prática agrícola sem preocupação com a conservação do solo e da água gera

terríveis consequências na qualidade de vida. Dois séculos mais tarde a agricultura, especialmente o agronegócio, vem tendo relevante participação no produto interno bruto (PIB) nacional e no período entre 2000 e 2007 os valores do PIB do agronegócio ficaram na faixa de R\$ 2,2 – 2,5 trilhões, ou seja, com participação entre 22,8 e 28,8% do PIB nacional (CEPEA, 2008). Dadas as perspectivas de aumento da participação deste setor no PIB nacional para os próximos anos, especialmente pela maior atenção para a produção de energia de biomassa e pela necessidade da produção de alimentos e fibras para uma população mundial crescente, aumenta a preocupação para o incremento da capacidade de intervenções antrópicas em causar degradação do ecossistema.

A área plantada com lavouras temporárias (ex. soja, milho, feijão, arroz) totalizam 46,7 milhões de hectares (CONAB, 2008). Entretanto, a principal ocupação do solo é a pecuária com 21% do território brasileiro. Dos quase 178 milhões de hectares sob pastagem, cerca de 100 milhões de hectares são de pastagens plantadas predominantemente com gramíneas braquiárias. Segundo o Ministério do Desenvolvimento Agrário, a agricultura familiar, definida como aquela cuja renda bruta anual não ultrapassa R\$ 110.000,00 e não pode possuir mais de dois empregados registrados, é responsável por 70% da produção de feijão e mais de 50% da produção de trigo. A agricultura empresarial, por sua vez, é responsável por 70% da produção de bovinos, arroz e soja e 51% da produção de milho. O acréscimo na produtividade média das culturas alcançado no período de 1970-1998 resultou no impedimento ao desmatamento de cerca de 60 milhões de hectares de florestas nativas (Figura 1). O aumento da produção nesse período é decorrente da disponibilidade de crédito, do incremento de produtividade na maioria dos cultivos pela adoção de variedades mais produtivas, de sementes de qualidade, desenvolvimento da fixação simbiótica do nitrogênio, pesticidas específicos e pelo uso de adubos corretivos e fertilizantes, apesar deste último estar ainda abaixo do desejável (LOPES; GUILHERME, 2001; ALVES et al., 2005; GASQUES et al., 2007).

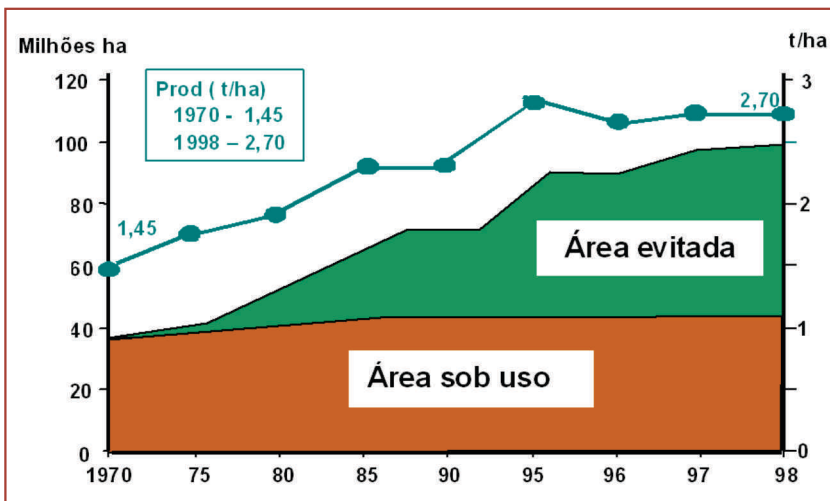


Figura 1. Economia de uso de área agrícola no Brasil no período de 1970-1998, em função do acréscimo da produtividade média das culturas.

Fonte: Lopes; Guilherme (2001).

Questiona-se, contudo, se o conjunto de tecnologias atualmente em uso pela maioria dos produtores envolve práticas conservacionistas. Pode-se definir conservação do solo como uma combinação de todos os procedimentos de uso e manejo do solo que resultem na sua proteção contra a deterioração por fatores naturais ou antrópicos. Atualmente, as ações de conservação do solo e da água remetem o ecossistema agrícola a ser não apenas um provedor de alimentos e fibras para gerar, de modo sustentável, renda ao produtor e segurança alimentar, mas também ser um provedor de serviços ambientais.

Se considerarmos o ecossistema como um complexo dinâmico de comunidades vegetais, animais e microrganismos e o ambiente interagindo como uma unidade funcional, serviços ambientais são os benefícios que a sociedade como um todo pode obter do ecossistema (MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005). Cabe destacar que a definição de serviços ambientais (EGs) é um dos temas mais relevantes das negociações internacionais e um estudo do Programa da ONU para Comércio e Desenvolvimento (UNCTAD) constatou que o tamanho do atual mercado de EGs é de aproximadamente US\$ 550 bilhões (OLIVA; MIRANDA, 2008). As causas para as recentes restrições a produtos agrícolas brasileiros por parte da União Européia podem ser, em parte, devido à pressão de consumidores por alimentos produzidos em

condições socialmente justas, menos impactantes ou que tenham efeito benigno ao ambiente, mas, segundo Latacz-Lohmann e Hodge (2003), as preferências da sociedade europeia por áreas rurais tendem a enfatizar mais as questões de paisagem e vida selvagem que questões de poluição. Mais recentemente, a Organização para a Cooperação Econômica e Desenvolvimento, instituição que reúne países industrializados, afirmou que as negociações de bens e serviços ambientais são essenciais para a proteção do meio ambiente (OECD, 2005). Além de alimentos, água, madeira e fibra, o sistema de produção pode gerar *serviços ambientais reguladores* que afetam o clima, inundações e qualidade da água e *serviços culturais* que oferecem benefícios estéticos e de recreação. Finalmente, há os *serviços de apoio* que consistem na formação do solo, na fotossíntese e na ciclagem de nutrientes.

Há no Brasil práticas agrícolas que, se considerarem todas as práticas conservacionistas, podem oferecer os diversos serviços ambientais acima descritos:

- Sistema Plantio Direto Contínuo na Palha (SPD): Trata-se do procedimento mais eficiente e eficaz de produzir alimentos, especialmente grãos, com simultânea conservação do solo e da água (MACHADO; FREITAS, 2004). A ausência de duas operações de preparo do solo resulta em economia de combustível e menor risco na produção. A presença da palha na superfície do solo mantém o solo úmido por períodos mais longos resultando em economia de água e bombeamento para irrigação. Áreas com terraços em nível, a superfície do solo protegida pela cobertura morta proporciona maior infiltração de água (RESCK, 2001) oferecendo recarga de aquíferos e economia no tratamento de água das cidades pela menor sedimentação de rios. Um solo com boa agregação sob SPD proporciona menor emissão líquida de gases de efeito estufa que aquele sob aração e gradagens, pois possibilita maior acúmulo de matéria orgânica protegida em agregados do solo (MADARI et al., 2005). Com a manutenção dos agregados intactos o carbono pode ser mantido no solo evitando sua emissão na forma de CO₂ para a atmosfera. No caso de um Latossolo Vermelho distroférico, muito argiloso, do sul do Brasil, o uso do SPD resultou, nas primeiras 8 horas de emissão, que 79,4 kg C-CO₂ ha⁻¹ não fossem emitidos para a atmosfera, após simulação de destruição dos

agregados. Sob preparo convencional, por ter menor agregação, evitou-se que 29,1 kg C-CO₂ ha⁻¹ fossem emitidos para atmosfera (BARRETO et al., 2009);

- Sistema Integração Lavoura-Pecuária em Plantio Direto (ILP): Um aperfeiçoamento do sistema anterior pela inclusão da pecuária de corte ou leiteira integrada à produção de grãos. Este sistema tem sido bastante adequado para o bioma Cerrado que, apesar de produtores neste bioma terem carência de plantas de cobertura adequadas para a produção duradoura de palha, a gramínea forrageira braquiária tem possibilitado produção animal a pasto na entressafra do inverno seco e cobertura morta para o cultivo de grãos no verão úmido. Além dos benefícios descritos para o SPD, gera-se menos gás de efeito estufa (gás metano) por quilograma de carne ou leite produzido (PRIMAVESI et al, 2007);
- Sistema Integração Lavoura-Pecuária-Floresta em Plantio Direto (ILPF): Sistema de produção mais complexo que propicia a produção de alimento e energia por envolver grãos, carne ou leite e madeira (móveis/papel) ou energia de biomassa. Isto porque, além do eucalipto, há possibilidades para uso de teca (*Tectona grandis*), bracatinga (*Mimosa scabrella*, Benth) e acácia (*Acacia mangium*). A combinação da adoção do plantio de florestas em ILP ou apenas a uma lavoura em SPD pode promover a umidificação do ar e contribuir para a formação de chuvas locais e amenização do calor (SAMPAIO et al., 2007; PRIMAVESI et al., 2007).

Estas diferentes formas de produção, particularmente ILP e ILPF, vem sendo adotadas por produtores nos diferentes biomas, apesar de ainda demandarem pesquisas científicas para o melhor arranjo de culturas comerciais com plantas de cobertura e espécies arbóreas, além de treinamento de técnicos para que produtores, especialmente pecuaristas, se familiarizem com o complexo esquema de rotação e planejamento de uso da terra.

Motivação para harmonizar produtividade com conservação

Preocupa-nos, porém, constatar que a conservação do solo e da água, fundamental para o ecossistema agrícola oferecer serviços

ambientais, não tenha ainda ampla adoção por parte dos produtores rurais. São vários os motivos. Acredita-se que pelo fato de ser de difícil percepção pelo produtor como essencial para o sucesso do empreendimento, as práticas conservacionistas, mesmo adotadas, correm o risco de serem esquecidas. A conscientização dos problemas da falta de conservação do solo e da transferência de tecnologias são ainda problemáticas no Brasil. Segundo Olinger (1997) e Cogo (2004) não apenas o ensino, mas também a assistência técnica e extensão rural em conservação do solo se fragilizaram e perderam espaço nos últimos anos. Ademais, documentos recentes de informação ou recomendação técnica para importantes lavouras temporárias contêm pouca informação sobre como executar um planejamento conservacionista. Há orientação para o sistema plantio direto apenas (SARAIVA et al., 2006; SILVA; DEL PELOSO, 2006). Constata-se ainda o fato do plantio direto ser conduzido com pouca adoção de rotação de cultura com plantas de cobertura (Tabela 1).

Tabela 1. Qualidade do sistema plantio direto no Brasil – Visitas a lavouras de janeiro a março.

Região*	Nº visitas	Área soja (M ha)	Adoção PD (%)	PD com palha** (%)	Tipo de palha***
1	150	5,5	100	71	Trigo/triticale, aveia e milho
2	215	4,2	100	41	Milho e trigo/triticale
3	506	9,4	100	28	Milho e milheto
4	218	2,2	93	27	Milho e milheto

Legenda: *1: RS, SC e Sul do PR; 2: Norte PR, Sul MS e Sudoeste SP; 3: Norte MS, MT, RO, Sudoeste GO e Triâng. MG; 4: GO, TO, Sul PA, Oeste BA, Sudoeste PI e MA.

**Cobertura do solo > 40%;

***Em ordem de frequência;

Fonte: Pessoa (2009).

Têm sido frequentes os relatos de áreas sob plantio direto nas quais os terraços foram eliminados e a semeadura feita no sentido do declive do terreno, acreditando-se que a grande quantidade de palha que cobre a superfície do solo seja suficiente para combater a erosão hídrica (RAIJ, 2008). Além disto, estradas rurais apresentam problemas de adequação aos sistemas conservacionistas das lavouras e se constituem em fator desencadeador ou agravador dos problemas com erosão (MORAES et al., 2004). Para se ter uma idéia da magnitude deste problema, o sistema rodoviário nacional é composto por 1.724.929 km de estradas públicas e estima-se que, aproximadamente, 90% destas vias apresentam-se sem revestimento ou com revestimento primário.

Grande parte destas vias é mantida e conservada por municípios e, na estação chuvosa, o fluxo superficial das águas pelas estradas, sem nenhum controle, tem provocado o surgimento de voçorocas laterais ao leito delas (GRIEBLER et al., 2005; OLIVEIRA, 2005).

Quanto à legislação ambiental e o uso do solo, depara-se com problemas de desatualização das leis (FREITAS et al., 2004) ou de carência de regras consistentes de condicionamento ambiental do uso do solo (SOUZA, 2004). Todavia, mesmo com o aperfeiçoamento da legislação ambiental já foi relatado que o Brasil tem tradição na difícil aplicação das leis. Apesar de ser de natureza voluntária, o Brasil, em recente *note verbale* à Convenção Quadro da ONU de Mudanças Climáticas (UNFCCC), apresentou metas de redução de emissão de CO₂ em 2020, que incluem SPD (16 a 20 milhões de t de equivalentes de CO₂), ILP (18 a 22 milhões de t de equivalentes de CO₂), recuperação de pastagens (83 a 104 milhões de t de equivalentes de CO₂ em 2020) e fixação biológica de nitrogênio (16 a 20 milhões de t de equivalentes de CO₂), numa expectativa de redução de 36,1% a 38,9% das emissões projetadas para o Brasil em 2020 (UNFCCC, 2010).

Perspectivas futuras

Qual caminho tomar para que haja efetiva adoção de práticas conservacionistas do solo? Esta pergunta é também motivada pela necessidade de evento nacional como a Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água (RBMCSA) incluir assuntos mais abrangentes e associados ao tema (COGO, 2004). Neste sentido, considerando-se que os serviços ambientais de ecossistemas agrícolas vêm sendo tema de negociações internacionais, há uma possibilidade de profissionais com experiência em conservação do solo convencerem os produtores em adotar práticas conservacionistas no âmbito da oportunidade de mercado. Um caminho é a Produção Integrada de alimentos, carnes e fibras coordenada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Trata-se de um sistema de produção que gera alimentos e demais produtos de alta qualidade enfatizando a preservação e o desenvolvimento da fertilidade do solo e a diversidade ambiental como componentes essenciais, levando-se em conta a proteção ambiental, o retorno econômico e os requisitos sociais (ANDRIGUETTO, 2002).

Há oportunidades para participarmos em diferentes *forums* internacionais, conforme apontado por Dumanski (2006), de modo a integrar a conservação do solo a atividades lucrativas e oportunidades de mercado. Sabe-se que as certificações socioambientais, ou selos-verdes, estão deixando de ser um diferencial voltado a nichos de mercado para se tornar exigência de mercado, especialmente para *commodities* e biocombustíveis (CONROY, 2007). As certificações normalmente são emitidas por entidades independentes ou organizações não-governamentais. Tudo começou em 1995 com o estabelecimento de critérios para o manejo sustentável de florestas da FSC (sigla em inglês para *Forest Stewardship Council*) que conta hoje com 827 organizações e indivíduos associados (CHASEK et al., 2010).

No Brasil, já há certificação para produtos agrícolas com menor impacto ambiental oferecidos, por exemplo, pela Imaflora, parte de rede em que participa a *Rainforest Alliance* e pela Comércio Justo (*Fairtrade*) com sede na Alemanha. Segundo Conroy (2007), somente com produtos com o selo Comércio Justo, já foram comercializados 4,5 bilhões de euros em 2007. Os critérios para certificação abrangem a conservação do solo e, apesar de não incluir o uso de plantas de cobertura, elas oferecem oportunidades para aperfeiçoamento dos critérios para certificação. Apesar dos procedimentos para a seleção dos critérios serem, em alguns casos, pouco transparentes ou gerarem suspeitas de barreiras não-tarifárias de mercados (CHASEK et al., 2010), eles poderiam ser aperfeiçoados por meio de regimentos internos já descritos em reuniões de pesquisa para informações técnicas de diferentes culturas no Brasil (REUNIÃO DA COMISSÃO CENTRO-SUL BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 2006; SARAIVA et al., 2006). Constata-se que há espaço para uma efetiva contribuição de especialistas em conservação do solo e da água de ecossistemas agrícolas num contexto de mercado ambientalmente seguro e socialmente justo. Quem tomará a iniciativa?

Referências bibliográficas

ALVES, E.; CONTINI, E.; HAINZELIN, E. Transformações da agricultura brasileira e pesquisa agropecuária. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, DF, v. 22, p. 37-51, 2005.

ANDRIGUETTO, J. R., KOSOSKI, A. R. **Marco legal da produção integrada de frutas no Brasil**. Brasília: MAPA, 2002, 60 p.

BARRETO, R. C.; MADARI, B. E.; MADDOCK, J. E. L.; MACHADO, P. L. O. A.; TORRES, E.; FRANCHINI, J. C.; COSTA, A. R. The impact of soil management on aggregation, carbon stabilization, and carbon loss as CO₂ in the surface layer of a Rhodic Ferralsol in Southern Brazil. **Agric. Ecosystems Envir.**, Dordrecht, v. 132, p. 243-251, 2009.

CHASEK, P. S.; DOWNIE, D. L.; BROWN, J. W. **Global environmental politics**. 5 ed. Boulder, CO: Westview Press, 2010. 473 p.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos. sétimo levantamento**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/estudo_safra.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2008.

CEPEA. **PIB do agronegócio**. Disponível em: <http://www.cepea.esalq.usp.br/pib/other/Pib_Cepea_1994_2007.xls>. Acesso em: 16 abr 2008.

COGO, N. P. **XV RBMCSA: um bom evento, mas continuou faltando a abordagem de temas essenciais da alçada da Ciência do Solo**. **Bol. Informativo da Soc. Bras. Ci. do Solo**, v. 29, n. 2, p. 10-13, 2004.

CONROY, M. **Branded!:** how the certification revolution is transforming global corporations. Gabriola Island, Canada: New Society Publishers, 2007. 320 p.

CUNHA, E. **Os Sertões:** campanha de Canudos. São Paulo: Ateliê Editorial, 2001. 901 p.

DUMANSKI, J. Changing course: soil conservation in a changing world. **Newsletter of the Eur. Soc. Soil Cons.**, v. 3, p.11-16, 2006.

FREITAS, H. R.; CARDOSO, I. M.; JUCKSCH, I. Legislação ambiental e uso da terra: o caso da zona da mata de Minas Gerais. **Bol. Inf. Soc. Bras. Ci. Solo**, v. 29, p. 22-27, 2004.

GASQUES, J. G.; BASTOS, E. T.; BACCH, M. R. P. Receita para crescer. **Agroanalysis**. v. 27, 2007. Disponível em: <http://www.agroanalysis.com.br/index.php?area=conteudo&mat_id=257&from=gestao>. Acesso em: 22 abr 2008.

GRIEBLER, N. P.; PRUSKI, F. F.; SILVA, J. M. A.; RAMOS, M. M.; SILVA, D. D. Modelo para a determinação do espaçamento entre desaguadouros em estradas não-pavimentadas. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 29, p. 397-405, 2005.

LATACZ-LOHMANN, U.; HODGE, I. European agri-environmental policy for the 21st century. **The Australian J. Agric. Res. Econ.**, v. 47, p.123-139, 2003.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **Preservação ambiental e produção de alimentos**. São Paulo: ANDA, 1991. 14 p.

MACHADO, P. L. O. A.; FREITAS, P. L. No-till farming in Brazil and its impact on food security and environmental quality. In: LAL, R.; HOBBS, P. R.; UPHOFF, N.; HANSEN, D. O. (Ed.). **Sustainable Agriculture and the International Rice-Wheat System**. New York, Marcel Dekker 2004. p.291-310.

MADARI, B.; MACHADO, P.L.O.A.; TORRES, E.; ANDRADE, A.G. de; VALENCIA, L.I.O. No tillage and crop rotation effects on soil aggregation and organic carbon in a Rhodic Ferralsol from southern Brazil. **Soil Till. Res.**, 80: 185-200, 2005

MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and Human Well-being**: Synthesis. Washington, DC: Island Press, 2005. 155 p.

MORAES, O., MENDES, R. B., BUBLITZ, U., LOYOLA, G. P. **Adequação de estradas rurais integradas aos sistemas conservacionistas**. Curitiba: EMATER, 2004. 74 p.

OECD. **Opening markets for environmental goods and services**. Paris: OECD Policy Brief, 2005. 8 p.

OLINGER, G. **Ascensão e decadência da extensão rural no Brasil**. Florianópolis, EPAGRI: 1996. 523 p.

OLIVA, F.; MIRANDA, S. **Definição de bens e serviços ambientais (Egs) é pauta da Rodada de Doha**. Disponível em: <http://www.cepea.esalq.usp.br/pdf/Cepea_Internacional_out05.pdf>. Acesso em: 16 abr 2008.

OLIVEIRA, M. J. G. **Hierarquização para orientar a manutenção de rodovias não-pavimentadas**. 2005. 126 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos.

PESSÔA, A. S. M. **Rally da safra 2009**: estado da arte e divulgação do plantio direto em 2009. Florianópolis: Agroconsult, 2009. 45 p.

PRIMAVESI, O.; ARZABE, C.; PEDREIRA, M. S. **Mudanças climáticas**: Visão tropical integrada das causas, dos impactos e de possíveis soluções para ambientes rurais e urbanos. São Carlos, Embrapa Pecuária Sudeste, 2007. 200 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Documentos, 70).

RESCK, D. V. S. Uso e ocupação do solo e a crise energética no Brasil. **Bol. Inf. da Soc. Bras. Ci. Solo**, v. 26, p. 14-18, 2001.

REUNIÃO DA COMISSÃO CENTRO-SUL BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 38., 2006, Passo Fundo. **[Anais...]** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. Disponível em: <<http://www.cnpt.embrapa.br/eventos/2006/38rcsbptt/index.html>>. Acesso em: 16 abr. 2008.

SAMPAIO, G.; NOBRE, C.; COSTA, M. H.; SATYAMURTY, P.; SOARES-FILHO, B. S.; CARDOSO, M. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. **Geophys. Res. Lett.**, v. 34, n. 7. 2007. doi:10.1029/2007GL030612.

SARAIVA, O. F.; CASTRO, C.; LEITE, R. M. V. B. C.; GROSSKOPF, S. E. **Reunião de Pesquisa de Soja da Região Central do Brasil**: ata da XXVIII reunião de pesquisa de soja da região central do Brasil. Londrina: Embrapa Soja, 2006. 249 p. (Embrapa Soja. Documentos, 275).

SILVA, C. C., DEL PELOSO, M. J. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro comum na Região Central-brasileira 2005-2007**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 139 p.

SOUSA, M. E. Atividade agrícola, legislação ambiental e desenvolvimento sustentável. **Bol. Inf. da Soc. Bras. Ci. Solo**, v. 29, p. 28-31. 2004.

UNFCCC. **Nationally appropriate mitigation actions of developing countries Parties**. Disponível em: < http://unfccc.int/files/meetings/application/pdf/brazilcphaccord_app2.pdf >. Acesso em: 28 mar. 2010.

RAIJ, B. van. **Plantio direto e o desenvolvimento sustentável**. Disponível em: < <http://www.agrisus.org.br/artigos.asp?cod=4> >. Acesso em: 10 abr. 2008.

Julian Dumanski

Introduction

Soil conservation has its roots in historical antiquity, but the institutionalization of the movement began with the major droughts and environmental devastations which occurred in the early part of the 20th century. The approaches to soil conservation that emerged from these experiences focused on prescriptive technological and engineering approaches to prevent or mitigate the impacts of soil erosion on crop yields, farmer income, and food security. However, after almost a century of soil conservation, the world has changed. Agriculture is now less natural resource based, and more strongly affected by global events, production subsidies, and other safety nets. Over the past decades, new land management technologies have progressively improved crop yields, and until very recently, the accepted evidence was that food security was no longer a concern². However, events of the past year bring this into question.

Although the importance of soil conservation to national agricultural GDP varies from country to country, the global importance of soil conservation and the control and mitigation of land degradation³ are more highly recognized now than at any time in the past. This is because rising populations and rising incomes in the middle classes, as well as increased capacity of human interventions to cause ecosystem

² Although food security is reasonably assured, about 2 M people go hungry every day, due more to problems of internal security and distribution.

³ Discussions on global environmental degradation include dimensions of land degradation. Although the terms have different meaning, in most cases, environmental degradation cannot occur without considerable degradation of land resources.

degradation, are now of such magnitude that for the first time in history how we manage the land can impact directly on global environmental goods and services. This concern on environmental values is the major driving force on the geopolitical agenda for soil conservation, and this is expected to increase in the future, as society better understands the important linkages between soil quality and the environment.

Linking land degradation and global environmental goods and services

Land degradation is an integral part of the environment cycles that support all types and quality of terrestrial life on the planet. Thus, in thinking about the processes and impacts of land degradation on society, we must increasingly focus not only on agricultural yields, farmer income, and food security, but also increasingly on the impacts of land degradation on provision of environmental goods and services. The driving forces of rural land use change are shifting from agriculture, forestry and other extractive services, to provision of environmental goods and services and global life support systems, and the major decisions in this are being made by people in urban areas, with increasingly removed understanding of agriculture.

Most ecosystem changes are the result of rapid growth in demand for food, water, timber, fibre, and fuel. In the recent past, food production increased by two and a half times, water use doubled, timber harvesting increased by more than half but tripled for pulp and paper production, and installed hydropower doubled. These changes have contributed to substantial net gains in human well-being and economic development, but at growing costs of ecosystem degradation, increased risks of extreme events, and exacerbation of poverty for some groups of people. The degradation of ecosystem services represent losses of natural capital, and while this can sometimes be justified to produce greater gains in other services, often more degradation of ecosystem services takes place than is in the best interest of society.

There are direct and indirect linkages between ecosystem services and components of human well-being, and land degradation affects these linkages in different ways. Knowledge of these impacts provides evidence of the extent to which these can be mitigated with

socioeconomic and technological interventions. For example, if it is possible to purchase a substitute for a degraded ecosystem service, then there is a high potential for mediation, but if there is no substitute, or if the substitute is very expensive, or if degradation of the ecosystem service is beyond rehabilitation, then that service may be lost forever. The strength of the linkages and the potential for mediation are shown in Figure 1.

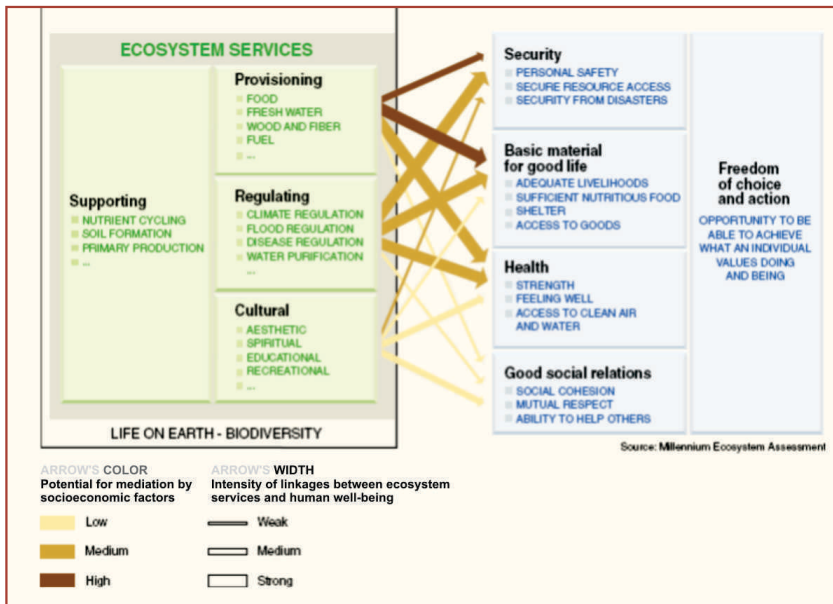


Figure 1. Linkage between ecosystem goods and services and human well being
Fonte: (UNEP, 2005).

Changes in drivers that indirectly affect ecosystem goods and services can lead to changes in drivers that directly affect ecosystems, such as changes in local land use and cover, the application of fertilizers, etc. (Figure 2). These result in changes to ecosystems and the services they provide, thereby affecting human well-being. These interactions can take place at several scales and can cross geographic and time scales. For example, an international demand for meat products may lead to regional deforestation, which may increase flood magnitude, loss of soil organic matter, and soil erosion.

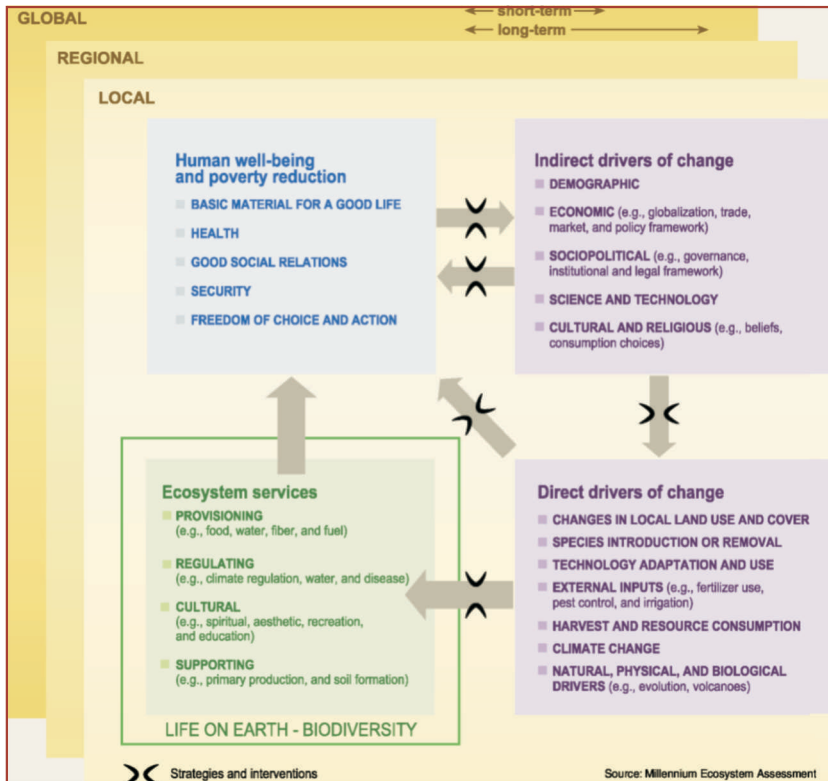


Figure 2. Linkages among direct and indirect drivers of land use change, ecosystem services, and human well-being.
 Fonte: UNEP (2005).

A discussion of the current state of the global environment is given in the Appendix 1 to this chapter.

Global trends influencing the geopolitical agenda for soil conservation

The human footprint on global terrestrial ecosystems is very large and growing exponentially. Currently, fully 83% of the world's land area is directly influenced by human interventions (Sanderson et al. 2002); 50% of the terrestrial earth's surface has been converted to grazing land and cultivated cropland, and 25% is intensively managed in agriculture, natural and plantation forests, or managed nature preserves (UNEP, 2005). Estimates are that by early in the next century, all land will be under some degree of management (VITOUSEK, 1994).

Driving forces on the agenda for soil conservation

The current driving forces on terrestrial ecosystems result from our continual initiatives for improved incomes and life styles:

- Increasing human footprint on the environment: The development of the extensive human footprint on the environment began under the rubric of settlement and our attempts to domesticate nature (in we have been extremely efficient). Originally, nature was domesticated (tamed) to enhance productivity, ensure food security, and control predators, but more recently this was promoted to enhance commerce and provide protection from storms and diseases (SANDERSON et al. 2002) apud (KARIEVA et al., 2007). This process was fundamentally one of tradeoffs, *i.e* substituting some natural environmental goods and services for others that are considered to be more useful. Thus for example, we plowed up grasslands and cut down native forests to create land for settlement and cultivation. In the process, we suppressed wildfires, eliminated predators, fortified shorelines, and controlled rivers for irrigation and hydroelectric power. Already the earth's dams hold nearly six times as much water in storage as occurs in free-flowing rivers (UNEP, 2005). These are all positive interventions in the process of domesticating nature, but the resulting trade-offs are of lower resilience than those originally provided by nature, and the consequences are often land degradation, desertification, poverty, and increasing marginalization of the world's disadvantaged.

There is a general impression among policy makers that a reserve of spare land exists for further settlement and cultivation. Although this was once the case, current estimates are that we are effectively at the limits of cultivable land, except for selected areas of central Africa and central Latin America (YOUNG, 1999).

- Urbanization: The continued, rapid urbanization of the worlds' population also strongly promotes the continued domestication of nature. By 2030, there will be 1.75 billion more urban residents, representing new urban land cover totaling about 42.4 M ha. These ecosystems are very much different from those of rural areas, and because cities are the main consumers of most ecosystem services, the per capita ecological footprints will increase dramatically as incomes and consumptions increase. The choices and actions of urban dwellers

are more powerful than those of rural populations, and these will influence policies and action far beyond their boundaries. Unfortunately, urbanites are generally unaware of the impacts of their decisions on environmental goods and services, and they are generally not knowledgeable on the trade-offs possible to provide for an improved environment. Regardless, future political discussions on the environment will be increasingly controlled by these urban influences, and further conversions of nature are expected. On the positive side, and with the higher education of urban populations, future discussions will increasingly focus on the trade-offs that we wish to impose on an already domesticated landscape, and soil conservationists must be ready to play increasingly important roles in these strategic discussions.

- **Globalization:** Globalization is the chief process driving our age. It is a relatively recent phenomena, but one with potentially significant impacts on soil conservation policies. This is because of the new driving forces on the use and consumption of natural resources, namely income growth, high energy prices, rapidly escalating food prices, emerging biofuel markets, and climate change. Since 2000, world demand for cereals increased by 8 %, but prices more than doubled (von Braun, 2007). This dramatic rise was due to a series of inter-related factors, including increased global populations (BRAUN, 2007), high economic growth, particularly in China and India⁴, shifting rural - urban populations⁵, growth of the middle class with higher incomes and changing consumption habits⁶, reduced cereal stocks⁷, the search for alternate fuels, and climate change⁸. Another significant factor is the growing power and leverage of international corporations on the production and marketing chain (BRAUN, 2007)⁹, including the horizontal consolidation that has occurred across the agri-input industry, with the top three agri-chemical companies accounting for roughly half of the total market.

⁴ Real GDP in these regions increased by 9 % per annum between 2004 and 2006.

⁵ Sixty one per cent of global populations are expected to live in urban areas within the next three decades.

⁶ In South Asia, per capita consumption of rice is expected to decline by 4 % by 2025, but consumption of milk and vegetables is expected to increase by 70 % and meat, eggs, and fish by 100 %.

⁷ In 2006, global cereal stocks were the lowest since the early 1980s.

⁸ World agricultural GDP is projected to decrease by 16 % by 2020 due to climate change.

⁹ Between 2004 - 2006, total global food spending increased by 16 % to \$6.4 trillion; growth for the top food processors and traders increased by 13 %; the top 10 producers of agricultural inputs increased by 8 %; sales of the top food retailers increased by 40 %.

The full impacts of globalization are yet to be identified, but they are likely to vary among countries. There are emerging observations that high food prices will result in reduced application of conservation technologies in food exporting countries, as farmers react to the opportunities of higher prices. For example, in the USA, there is evidence that up to half of the farmers participating in the Conservation Reserve Program are planning to opt out about 50 % of their commitment in the next round of negotiations. This is opposed by urban interests such as the nature NGOs and environmentalists, but supported by other urban interests such as bakers and food suppliers. On the other hand, the high food prices may result in increased recognition of the value of conservation in food importing countries, as governments try to minimize the costs and impacts of high food prices. High fuel prices will make agriculture more expensive, but may also help to promote zero tillage, as farmers move to minimize operating costs. On biofuels, there is growing consensus that they are neutral in terms of greenhouse gas contributions, but highly distorting of market conditions due to extensive farm subsidies¹⁰. At the same time, there are concerns on the potential negative impacts on soil conservation if crop residues are used for biofuels.

The concentration of marketing power in the hands of international corporations is not likely to benefit soil conservation since these companies emphasize food quality, food safety, and guaranteed supply at the required time, rather than global environmental benefits. However, these companies may be useful partners in promoting a certification scheme for soil conservation. Regardless, the soil conservation community must recognize that there are new players on the field, and that they wield considerable consumer and political power.

- Information power: The age of information and the age of globalization are parallel driving forces. Whereas the latter is driven by trade, the former is driven by new technologies and the evolution of new and improved skills and understanding. The impact is that whereas once nation states derived national policies on issues such as the environment, the evolving approaches are to move toward

¹⁰ The US imposes a duty of \$0.51 per litre of biofuel imported from Brazil, but subsidizes US corn production for biofuel.

international solutions on global environmental problems. This is best illustrated by the growing influences of the international environmental conventions, administered under the UN. These are increasingly powerful instruments, with highly effective convening powers, centered primarily on the urban constituency. For example, in 2007, the IPCC shared the Nobel Prize with Al Gore for their work on Climate Change. This was achieved through the collaboration of hundreds of scientists from many countries in the space of only about 15 years. Such impact has never been achieved before.

New opportunities for promoting soil conservation

The International Environment Conventions

Several important international environment conventions have been developed and ratified by the global community since the Rio Earth Summit. The conventions emphasize international responsibilities for global environmental management, but recognize that there are corresponding local and national issues. While all deal with complex issues of land management, only the United Nations Convention to Combat Desertification and the United Nations Framework Convention on Climate Change, and its subsidiary, the Kyoto Protocol, specifically mention soil and land management, although this is increasingly being recognized also in the Convention of Biodiversity.

The major international conventions and their relationships to agriculture are summarized as follows:

- Biodiversity and Agriculture: Biodiverse ecosystems have a fundamental role and importance in sustainable development, providing many important benefits. They often contain a variety of economically useful products that can be harvested or serve as inputs for production processes, as well as providing habitats for flora and fauna, and many key ecological services including those associated with nutrient cycling, disturbance regulation, availability and quality of water for agriculture, industry, or human consumption, etc. Agriculture is dependent on many biological services, and conversely, sustainably

managed agricultural landscapes are important to the conservation and enhancement of biodiversity.

- Desertification and Agriculture: The objectives of the United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD) are to combat desertification, land degradation, and the effects of drought in arid, semi-arid, and dry sub-humid areas. Efforts to combat desertification are integrated with strategies for poverty eradication, and they are guided by the principles of stakeholder participation, international cooperation, and consideration of the specific needs of affected developing countries. National Action Programs (NAPs) are developed to define and promote preventive measures, enhance climatologic, meteorologic, and hydrologic capabilities, strengthen institutional frameworks, provide for effective stakeholder participation, and review implementation regularly. The Convention gives priority to Africa while not neglecting other regions. It has no independent financing, but a Global Mechanism (GM) was established to mobilize and coordinate funds for combating desertification. The impacts of this convention on mitigation of land degradation is increasing with time.

- Climate Change and Agriculture: The linkages among land-use dynamics, management of rural landscapes, and greenhouse gases (GHGs) are identified in the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). During previous periods of rapid agricultural expansion, primarily in temperate regions, there was widespread conversion of native lands for agriculture, with concomitant huge emissions of CO₂ to the atmosphere due to oxidation of organic carbon in vegetation and soils. In recent years, deforestation in temperate regions has been reversed, but land conversions in the tropics has greatly expanded, and this has become a major source of CO₂ emissions to the atmosphere. Annually, about 20% of total anthropogenic CO₂ emissions are due to land conversions, and a further 5 % is contributed from continual carbon losses from cultivated soils. Also, agriculture contributes around 50% of anthropogenic CH₄ emissions globally, primarily from the rumen of livestock and from flooded rice fields, and about 70% of anthropogenic N₂O, largely as a result of nitrogen inputs from synthetic fertilizers and animal wastes, and biological nitrogen fixation (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2000).

- International waters and agriculture: Almost half of the world's land surface and 80% of the fresh river flows exists in major basins that cross or form international boundaries. Many of these shared watercourses are subject to alarming rates of environmental degradation, with strong linkages with land and water management (GEF, 2002). Deforestation and land degradation in international watersheds such as the Nile, Niger, Parana, and Indus affect rainfall patterns, increase the range of local temperatures, and cause major variations in water flow and quality. Soil erosion leads to siltation and sedimentation of lakes and reservoirs, shorten their lifetimes, destroy aquatic environments, reduce the productivity of their ecosystems, and diminish the flood control capacity. Approximately 75% of global pollution of marine waters is from land-based activities, including pollutants such as pesticides, nutrients from fertilizers and sewage, sediments and solid wastes. Pollution from nitrates and phosphorus is growing rapidly due to overuse of fertilizers, increased domestic and industrial sewage, and increased aquaculture.

- The Ramsar Convention: The Convention on Wetlands is an intergovernmental treaty, which provides the framework for national action and international cooperation for the conservation and wise use of wetlands and their resources. It came into force in 1975, with a mission for "the conservation and wise use of all wetlands through local, regional and national actions and international cooperation, as a contribution towards achieving sustainable development throughout the world". Wetlands provide fundamental ecological services and are regulators of water regimes and sources of biodiversity at all levels - species, genetic and ecosystem. Soil conservation has an important role in the rehabilitation and preservation of wetlands, and prevention of serious and sometimes irreparable damage to provision of ecosystem services.

- The impacts of the environment conventions on soil conservation: The international environmental conventions, particularly the UNFCCC and the UNCCD, illustrate the new dynamics in the geopolitical evolution of soil conservation. These conventions do not guide activities in soil conservation, but they focus discussions on linkages between land degradation and the environment, identify objectives to be achieved and procedures to be followed, identify new opportunities

including new market based opportunities, and identify new partnerships and new money to fund the programs. Negotiations under Kyoto are illustrative of how new financial instruments (carbon credits) and market mechanisms (carbon trading) under the international conventions can be used to promote soil conservation. The general acceptance of these approaches indicate that market based opportunities will become available for the other international conventions, thus cementing good business practices with provision of environment goods and services.

The conventions on Climate Change and Desertification have highlighted the importance of soil conservation to the urban community and to the world. The importance of soil conservation vis-à-vis global environmental benefits is now recognized on a par with air and water quality. This has never happened before, and it provides opportunities to promote soil conservation on levels that have never been previously available.

New international initiatives to mitigate land degradation

The Global Environment Facility (GEF):

The GEF is the major funding agency for the international environment conventions. The GEF, which was replenished in 2007, currently supports six focal areas and two cross-cutting areas. For soil conservation, the main focal areas include Land Degradation, International Waters, Climate Change, and Biodiversity. Each focal area is defined by long term Strategic Objectives, and supported by sets of Strategic Programs and expected outcomes (GEF, 2007).

The GEF focal area on Land Degradation is designed to foster system-wide change to control the increasing severity and extent of land degradation and to derive global environmental benefits. Its tool is Sustainable Land Management (SLM). The focal area will address the three major direct drivers for terrestrial ecosystem degradation, namely land use change, natural resources consumption and climate change. All project proposals will incorporate the effect of climate change as an integral part of measures for sustainable land management.

The GEF emphasizes that investing in SLM to control and prevent land degradation is an essential and cost-effective way to deliver other global environmental benefits, such as maintenance of biodiversity, mitigation of climate change and protection of international waters.

The program takes a holistic view of land degradation, and works towards capturing synergy among the GEF focal areas as these relate to land degradation. Sustainable land management takes a landscape approach, which requires integration among all major issues involved in natural resources management, including the various factors influencing decisions about land use at the local, national, and regional level. This program invests in projects that integrate sustainable land management into national development priorities, strengthen human, technical, and institutional capacities, bring about needed policy and regulatory reforms, and implement innovative sustainable land management practices.

The GEF emphasizes and promotes development of appropriate enabling policy environments and institutional capacity to support sustainable land management (SLM), particularly in least developed countries which may lack such infrastructure. Related activities include harmonizing relevant planning and policy frameworks, integrating land use planning, and establishing institutional mechanisms for the management of trans-boundary resources. An essential part of the GEF's work in SLM is supporting on-the-ground investments in sustainable agriculture, rangeland, and forest management to address land degradation, such as packages to restore ecosystem health while improving local livelihood and the flow of goods and services they provide.

*Terrafrica – The new alliance to combat land degradation in Africa*¹¹

This program is based on the principles of Sustainable Land

¹¹ This program was developed because past investments and research on land degradation in Africa have been inadequate compared to the scale of the threat, land degradation continues to accelerate, and it is recognized as a genuine constraint to economic growth (WORLD BANK, 2005). Currently, about 65 per cent of Africa's population is directly and indirectly affected by land degradation (REICH et al., 2001). Agriculture generates about one-third of the continent's Gross National Income, but agricultural production has been falling at about 3%/yr as a result of land degradation and other causes (BERRY, 2003). The loss in gross annual income due to land degradation is estimated at USD 9 billion for Africa (GTZ, Fact Sheet Desertification in Africa). As a consequence, food insecurity in Sub-Saharan Africa is expected to increase by 25 percent between 2000 and 2010.

Management (SLM)¹², giving it distinct advantages to pursue joint objectives in land degradation and environment management. The focus of TerrAfrica is to ensure that SLM is mainstreamed more at the center of governments' and other stakeholders' priorities, attract new investment, scale-up successful programs, improve national and international knowledge on policies, advocacy, and investment packages for SLM. Intentions are not to promote new research and new technologies, but rather to focus on root causes of land degradation, including indirect impacts and socio-economic drivers, institutional and policy barriers, and markets for inputs and produce. It also provides support and capital to invest in land improvements, dissemination of knowledge, and strengthen local institutions to guide decision-making and to assess socio-economic costs and benefits. It also works to improve cooperation and harmonization among stakeholders including donor agencies, researchers, civil society, and farming communities.

The TerrAfrica program is being developed by a partnership of donors and governments, including the GEF and the World Bank, and will operate in Sub-Saharan Africa at country and regional levels.

MENARID – Integrated Natural Resource Management for the Middle East and North Africa

The objective of MENARID is to (i) to promote INRM in the production landscapes of the MENA region and (ii) improve the economic and social well-being of targeted communities through restoration and maintenance of ecosystem functions and productivity. In this program, investments will be coordinated to: (i) promote enabling environments and mainstream the INRM agenda at national and regional scales, and (ii) generate mutual benefits for the global environment and local livelihoods through catalyzing INRM investments for large-scale impact. The program will support the GEF focal areas for land degradation, international waters, biodiversity, and climate change while contributing at the same time to improving

¹² The pillars of SLM are the application of agro-ecological principles to farming; an emphasis on human resource development and knowledge based management techniques; a participatory, decentralized and farmer centered approach; the value placed of natural and social capital enhancements in addition to economic efficiency gains, and the role of strong and self reliant rural institutions (SMYTH ; DUMANSKI, 1993).

livelihoods and reducing poverty. The operational objectives are to promote INRM in the production landscapes, while improving economic and social well-being of the targeted communities through the restoration and maintenance of ecosystem functions and productivity.

The MENARID program will provide technical assistance, and associated investments necessary to coordinate and harmonize INRM activities, in an effort to integrate IWRM, biodiversity conservation, measures and climate responses in the MENARID countries. The program will promote policy and institutional reforms to mainstream INRM and IWRM, biodiversity conservation measures, and climate responses in national policies, planning processes, and legal frameworks. The program will also invest in restoration of arid and semi-arid ecosystems, rehabilitation and restoration of degraded lands (including farmlands, rangelands and watersheds), as well as stimulate income-generating activities for the local populations, including increased adaptation to climate change. The fourth component emphasizes knowledge management, sharing, and up-scaling best practices.

The program will be delivered through targeted technical assistance and associated investments to strengthen institutional and human resource capacity for improved coordination at the national level, as well as on-the-ground operational capacity at the local level.

The European Union Thematic Strategy on Soil Protection

The Environment Commission of the EU is working on a strategy to provide EU Member States with a framework within which to protect soil and use it in a sustainable way. For the first time, they are treating soil protection on the same level as water and air. The objectives are to harmonize legislation, policies and programs, so as to ensure an adequate level of protection for all soil in Europe. These are the first steps in the development of a Thematic Strategy to protect soils in the European Union, which ultimately may contain a proposal for a European law (a framework directive), which could set out common principles and a common methodology.

Conservation Agriculture - An International Movement of Farmer Associations

Conservation Agriculture (CA) is a new, farmer driven, international movement that is gaining acceptance because of the potential to enhance farm profits while concurrently improving environmental services, soil quality, and mitigate land degradation. CA emphasizes the use of modern technologies that enhance the quality and ecological integrity of the soil, but the application is tempered with traditional knowledge of soil husbandry gained from generations of successful farmers. This holistic embrace of knowledge, as well as the capacity of farmers to apply this knowledge, and innovate and adjust to evolving conditions, ensures the sustainability of those who practice CA. CA provides direct benefits to environmental issues of global importance, including control and mitigation of land degradation, mitigation of climate change, improved air quality, enhanced biodiversity including agrobiodiversity, and improved water quality. It is achieved through community driven development processes whereby local, regional and national farmer associations, working through community workshops, farmer-to-farmer training, and on-farm experimentation, but with technical backstopping from conservation professionals, decide on the technical innovations for adoption and the best procedures for implementation.

An international working group has developed a comprehensive definition of CA to clarify relationships between CA and no-tillage (DUMANSKI et al., 2006). This identifies the principles of CA to include maintaining permanent soil cover, promoting a healthy, living soil, promoting balanced application and precision placement of fertilizers, pesticides, and other crop inputs, promoting legume fallows, composting, and organic soil amendments, and promoting agroforestry to enhance on-farm biodiversity and alternate sources of income.

No-tillage remains the main stay of CA, and adoption of these technologies has expanded rapidly over the past several decades (DERPSCH, 2005). No-tillage is now used on more than 95 million ha world wide, primarily in North and South America. Approximately 47% of no-tillage technology is practiced in South America, 39% is practiced in the United States and Canada, 9% in Australia and about 3.9% in the

rest of the world, including Europe, Africa and Asia. Using these technologies, grain production has increased, soil carbon has been enhanced, water quality improved, and consumption on-farm of fossil fuels has decreased.

Mobilizing market based initiatives for land degradation and soil conservation

The Kyoto Protocol and Soil Conservation

The Kyoto Protocol focuses on controlling and reducing GHG emissions (sources), primarily from industrial and transportation sources, but it also recognizes the corresponding opportunities to be gained through better management of carbon reservoirs and enhancement of carbon sinks (sequestration) in forestry and agriculture. The latter are achieved through soil conservation, improved local land management practices, such as crop rotations and zero tillage, and management of land use change (conversions).

Global, national, and regional C markets are evolving in the US, Europe, and Asia. However, the prices being offered for a certified C credit (one t CO₂ equivalent) are highly variable, indicating that the market is still very immature. Monitoring of the rudimentary C market in the US and Europe indicates trades often coming in as low as US\$0.85 - 3.00 per t CO₂ equivalent in North America (about \$0.80 per t C), whereas industrial carbon credits traded on the European exchange are normally about 15 - 20 Euros (\$19-25). The higher value of the European market is due to the legislated cap and trade system. The BioCarbon Fund, sponsored by the World Bank, pays \$4.00 per t CO₂ equivalent.

Although governments have major roles in developing the market by regulating policy and directly and indirectly setting the price through incentive payments and other interventions, the current action of governments in the evolution of these markets is not clear. Thus, it is uncertain whether current market prices will be sufficient to entice many farmers to make the necessary changes in land management to ensure sufficient sequestration to meet Kyoto requirements.

The term of the Kyoto protocol has expired, and there is need to

replace it with some other mechanism. However, the political and technical conditions for this new mechanism are still to be developed.

Payment for Environmental Services (PES)

In Latin America, water-related PES schemes are gaining popularity as instruments to finance activities of natural resources management for improving water availability and quality (KIERSCH et al., 2005). Schemes range from local initiatives with or without external financing to national programs financed through cross-sectoral subsidies. Most PES schemes are negotiated directly between participants, with payments to providers based mostly on available funds and opportunity costs.

While these are promising mechanisms to improve natural resource management (providing there are water users with a sufficiently large willingness to pay), it would be more useful to expand such schemes to include other environmental services such as carbon sequestration or biodiversity conservation. Such expansion, however, would require new institutional mechanisms to combine local and global markets for environmental services, and the development and monitoring of new technologies that simultaneously provide these services.

New partners in soil conservation –an example from Ducks Unlimited Canada (DUC)

DUC is part of the larger North American Ducks Unlimited family, with a mission to conserve, restore and manage wetlands and associated habitats for North America's waterfowl, providing benefits to wildlife and people. DUC is a private, non-profit, Canadian owned and governed, charitable association. The vision of DUC is to achieve a mosaic of natural, restored and managed landscapes capable of perpetually sustaining populations of waterfowl and other wildlife

Ducks Unlimited Canada, with its partners in the USA and Mexico, started the North American Waterfowl Management Plan in 1986. This has since expanded to become one of the most successful conservation programs in the world. This international agreement

unites federal, provincial/state and municipal governments, non-governmental organizations, private companies and many individuals. The program has generated over \$3.2 B, and successfully conserved over 5 M ha of wetlands, particularly the important areas of the flyover in North America.

DUC puts major emphasis on forming partnerships with private land owners in joint ventures where there are mutual benefits. For example, they promote and facilitate establishing conservation easements, where payment or tax benefits accrue to landowners who agree to manage their land using conservation based technologies. In particular, they promote zero tillage and other soil and crop conservation practices, which concurrently enhance soil quality, conserve habitat, and improve biodiversity. These popular initiatives have secured over 17,000 landowners as members in the joint ventures in the prairie region of western Canada. More recently, DUC has begun work to broker agreements between farmers and governments in marketing carbon sequestration credits under the Kyoto Protocol.

Conclusions

The global terrestrial environment consists of a mosaic of ecologically linked, natural and human land use ecosystems, and the health and integrity of these ecosystems depends on the mix and the synergy of processes that pass between them to produce a steady flow of production and environmental goods and services (GEF, 2004). The links among ecosystem integrity, human welfare, and human health are increasingly being realized, and it is recognized that land degradation affects selected portions of these linkages. These degradation processes must be more carefully controlled if the ecosystem components, functional cycles, and services that flow there-from are to be ensured into the future.

Understanding the components, processes, and synergy within and between natural and converted (managed) ecosystems requires a landscape approach rather than single factor studies. Landscape studies promote understanding of ecological and socio-economic interactions, linking local benefits to global environmental goods and services. Agro-ecosystems and other managed ecosystems experience

pressures, energy flows, and dynamics that differ from natural systems, and these have to be understood not only in terms of capital return (yield, etc.) but also in terms of their influence on ecosystem services (DUMANSKI et al., 2002).

There are new driving forces that will influence the geopolitical agenda for soil conservation. These include the rising consumerism of the global middle classes, including the rapidly urbanizing populations of China, India, and Latin America. The processes of globalization, modern technologies of knowledge management, and the rising influence of urbanites have the potential to considerably change the way we promote soil conservation. We must be cognizant of these driving forces, and react to capture the opportunities they present. At the same time, there are new and increasingly powerful players on the soil conservation scene, including the nature-based NGOs which are emerging as influential players in soil conservation. We should pursue partnerships with these to ensure balanced focus on production, economic, and environmental goods and services. The nature-based NGOs have considerable convening power and considerable capacity for fund raising, but more importantly, they are increasingly influential in developing financing schemes for non-market goods and services from the environment. These are important initiatives for soil conservation.

There are many promising, new opportunities for soil conservation, as illustrated in the international environment conventions, the evolving, new programs under sustainable land management, and the evolving international trading schemes. This will require some shifts in focus for the soil conservation community, a move from defining the processes of erosion and developing technological fixes, towards more involvement in the social and political processes of community led soil conservation. More attention must also be given to removing the barriers and bottlenecks to soil conservation. Also, the soil conservation community must be more proactive in mobilizing and empowering the farmers and herders of society in the fight against land degradation, since they are the immediate direct beneficiaries of improved land management and those who suffer the most from land degradation. The international environment conventions provide guidance and opportunities for such

shifts, and some successes achieved with international institutions, such as the International Union for the Conservation of Nature, Ducks Unlimited, and other environmental NGOs, provide guidance on approaches.

Thus, the world has changed and the science of soil conservation must also change. The soil conservation community must stop looking at what has worked in the past, but look forward to what is needed in the future. It must move from perennial studies of erosion and prescriptive engineering approaches, to more holistic and participatory (social) approaches. It must move to procedures which integrate soil conservation, rural landscape management, and technological innovation, with profit generating activities and market opportunities. We must get on board with the new driving forces and new program opportunities; we must catch the wave. The soil conservation community has much to offer, and much can be achieved in partnerships in environmental management, soil conservation, and human wellbeing.

References

BRAUN, J. von. **The world food situation: new driving forces and required actions.** Washington, D.C. IFPRI, 2007.

BERRY, L. **Case studies on the impact and cost of land degradation: GTZ, fact sheet desertification in Africa.** 2003.

DERPSCH, R. The extent of Conservation Agriculture adoption worldwide: Implications and impact. In: **WORLD CONGRESS ON CONSERVATION AGRICULTURE**, 3., 2005, Nairobi, KY. **Proceedings.** Nairobi: [WOCAT], 2005.

DUMANSKI, J.; PEIRETTI, R.; BENETIS, J.; MCGARRY, D.; PIERI, C. The paradigm of conservation agriculture. **Proc. World Assoc. Soil and Water Conserv.**, p. 58-62, 2006.

DUMANSKI, J.; BINDRABAN, P. A.; PETTAPIECE, W. W.; BULLOCK, P.; JONES, R. J. A.; THOMASSON, A. Land classification, sustainable land

management, and ecosystem health. In: *ENCYCLOPEDIA of Food and Agricultural Sciences*. Oxford, UK: EOLSS Publishers, 2002.

GEF. Scope and coherence of the land degradation activities of the GEF. GEF/C.24/6. Washington, D.C: GEF, 2004.

GEF. Focal area strategies and strategic programming for GEF 4. Washington, D.C: GEF, 2007.

KARIEVA, P.; WATTS, S.; MCDONALD, R.; AND BOUCHER, T. Domesticated nature: shaping landscapes and ecosystems for human welfare. **Science Magazine**, v. 29, n. 319, p. 1866-1869, 2007.

KIERSCH, B.; HERMANS, L.; HALSEMA, G. van. 2005. Payment schemes for water-related environmental services: a financial mechanism for natural resources management experiences from Latin America and the Caribbean. In: *SEMINAR ON ENVIRONMENTAL SERVICES AND FINANCING FOR THE PROTECTION AND SUSTAINABLE USE OF ECOSYSTEMS*, 2005, Geneva. [**Anais...**]. Rome: FAO, 2005. p. 10-11.

OLEWILER, N. The value of natural capital in settled areas of Canada. [s. l.]: Ducks Unlimited Canada: Nature Conservancy of Canada, 2004. 36 p.

PRETTY, J.; BRETT, C.; GEE, D.; HINE, R.; MASON, C.; MORISON, J.; RAYMENT, R.; VAN DER BIJL, G.; DOBBS, T. Policy challenges and priorities for internalising the externalities of modern agriculture. **J. Environ. Plan. Manage.** V. 44, p. 263–283, 2001.

REICH, P.F. et al. Land resources stresses and desertification in Africa. Washington, D.C: NRCS, 2001.

REQUIER-DESJARDINS, M.; BIED-CHARRETON, M. **Evaluation des coutes économiques et sociaux de la dégradation des terres et de la désertification en Afrique.** St Quentin-en-Yvelines: Université de Versailles, 2006.

SMYTH A J.; DUMANSKI, J. FESLM: an international framework for evaluating sustainable land management. **World Soil Resources Report**, Rome, n.73, 1993.

SPARLING, G. P.; WHEELER, D.; VESELY, E. T.; SCHIPPER, L. A. 2006. What is soil organic matter worth? **J. Environ. Qual.** Madison, v. 35, p. 548–557, 2006.

UNEP. **Millennium ecosystem assessment.** Nairobi: UNEP, 2005.

VITOUSEK, P. M. “Beyond global warming: ecology and global change”. **Ecology**, v. 75, p. 1861-1876, 1994.

WORLD BANK. TerrAfrica information brief. Washington, D.C: World Bank, 2005.

YOUNG, A. Is there really spare land? A critique of estimates of available cultivable land in developing countries. **Env. Dev. and Sust.**, v. 1, p. 3-18, 1999.

Appendix 1

The Millennium Ecosystem Assessment

The state of the global environment: The impacts of environmental degradation are assessed in the Millennium Ecosystem Assessment report (UNEP, 2005). This identifies the following:

- Approximately 15 out of 24 major ecosystem services are being degraded or are used unsustainably. These include such life support services as fresh water, air and water purification, regulation of climate, natural hazards and pests, and capture fisheries. Many such services are being degraded to increase supply of other services, such as food production.
- Evidence is increasing that the ecosystem changes are increasing the likelihood and frequency of potentially irreversible changes, such as creation of dead zones in coastal environments, shifts in regional climates, abrupt alterations in water quality, collapse of fisheries, etc.
- The harmful effects of ecosystem degradation are

disproportionately born by the poor, thereby contributing to growing inequalities and sometimes social conflict.

The consumption of ecosystem services is expected to grow as a consequence of an expected three to six-fold increase in global GDP by 2050, regardless of an expected leveling off of global population growth (UNEP 2005).

In terms of land use and ecosystem degradation, the report cites the following:

- More land was converted to cropland since the Second World War, than in 150 years between 1700 and 1850. Medium and intensively managed agricultural lands now occupy about 25% of global terrestrial surface.
- Approximately 20% of coral reefs were lost and a further 20% degraded, and 35% of mangrove swamps were lost in the last decades of the 20th century.
- Fresh water withdrawals from lakes and rivers doubled (70% for agriculture), and water impoundments behind dams quadrupled.
- Since 1960, flows of biologically available nitrogen have doubled, and flows of phosphorus have tripled. Almost half of all synthetic fertilizers ever used, has been used since 1985.
- Since 1750, atmospheric concentration of CO₂ has increased by 32 % (from 280 to 376 ppm), due to fossil fuel use and land use changes. Approximately 60% of this has taken place since 1959.
- Human activities are resulting in significant losses of global biodiversity, and changing the diversity of life on earth.
- Frequency and risks of floods and fires has increased 10 fold in the last 50 years; natural catastrophes now account for 84% of insured losses.

Mitigation of ecosystem degradation: Ecosystem degradation and land degradation can rarely be reversed without attention to the direct and indirect drivers of land use change. Both economic growth and population pressures result in increased consumption of ecosystem services, but the harmful environmental impacts of any type and level of intervention depend on the efficiency of technologies used. Many changes in ecosystems services involve privatization of what were formerly common pool

resources. e.g water user rights, land user rights, etc. In the process, some groups become marginalized and often lose their traditional access to these resources. An example is the loss of grazing rights for indigenous peoples with the privatization of rangelands. It is estimated that the important drivers of ecosystem change are unlikely to diminish in the first half of this century, but two main drivers, climate change and nutrient loading, will become more severe (UNEP, 2005), but increasingly this will occur within the context of globalization.

Impacts of ecosystem degradation on society: Ecosystem degradation affects wealthy as well as poor populations, but the impacts on wealthy populations are minimized and mitigation is easier because they can afford substitutes and other measures that often are out of reach for the poor. However, substitutes are not available for all services, and mitigation can be prohibitively expensive beyond the threshold of collapse, and substitutes can have other negative environmental impacts. On the other hand, poor populations suffer more, and land and ecosystem degradation are sometimes principle factors contributing to rural poverty (WORLD BANK, 2005). The pattern of winners and losers in ecosystem change, particularly for those most vulnerable and those most poorly equipped to cope with the major changes in ecosystem services, such as the rural poor, women, indigenous populations, etc., is not normally considered in management decisions. The reliance of the rural poor on “free” ecosystem services, such as soil fertility, harvesting of NTFPs, are rarely measured and thus not reflected in national statistics, but for certain societies, these benefits can be substantial.

Ecosystem resilience: Ecosystems have a large capacity to absorb impacts and abuse, and the impacts of degradation may not be readily apparent. However, once a threshold is crossed, the systems change to a very different state. This change can occur quickly, it can be extensive and large in magnitude, and it can be difficult, expensive, or impossible to reverse. Thus, degradation of ecosystem processes may be slow to be observed, or the impacts may be experienced at some distance from the source of damage. For example, it takes decades for the full impacts of phosphorus loading

to become apparent through erosion, eutrophication, etc. Similarly, it takes centuries for loss of soil organic carbon to become apparent through climate change.

This delayed reaction in ecosystem degradation is increasing the likelihood of nonlinear, potentially irreversible, global change with important implications for human welfare, e.g. climate change. One of the major driving forces causing nonlinear change is the loss of biodiversity, including soil biodiversity. This is because the soil is a living body, maintained through the ecological interactions and balance of its biological constituents, and the loss of genetic diversity in the soil decreases the resilience of this ecosystem¹³. The loss of resilience is also caused by the continued, direct impacts of multiple drivers, such as over-harvesting, nutrient loads, climate change, etc. Our capacity to identify and predict such changes and the thresholds when they occur are still very imperfect.

The value of ecosystem services and natural capital: Natural capital consists of natural resources, ecosystem resources, and land. These resources are assets that yield goods and services over time that are essential to the sustained health of our environment and the economy. Protection and enhancement of natural capital will sustain food production, improve water quality, increase recreational opportunities, mitigate flooding, decrease net greenhouse gas emissions, improve air quality, provide habitat, and produce many more tangible and intangible benefits to society. The degradation of ecosystem services represents a loss of capital assets. Many ecosystem services are available freely, and degradation is not reflected in standard economic value systems. Non-market values of ecosystem services are often allowed to degrade, because resource management decisions are mostly influenced by those ecosystem services that enter the market system.

Agriculture is often the cause of ecosystem degradation. For example, damage from agriculture in the UK to water sources, air quality, off-site soil erosion, and biodiversity was \$2.6 billion, or 9% of gross farm receipts. In addition, reduced value of waterfront and

¹³ Resilience is the disturbance that a system can absorb without crossing a threshold to a different structure and functions.

recreational uses, water treatment costs, tourism, etc. was estimated at \$100 – 150 M per year, with additional \$77 M per year in mitigation costs (UNEP, 2005).

The value of protecting or rehabilitating natural capital often exceeds by several fold its use in production¹⁴. For example, in Canada, the estimated net value of conserving or restoring natural areas is about \$195/ha/yr in the Grand River Watershed of Ontario, about \$65/ha/yr in the Upper Assiniboine River Basin in eastern Saskatchewan and western Manitoba, and about \$126/ha/yr in the Mill River Watershed in P.E.I. (OLIWELER, 2004). In the Catskill Mountains, New York, an investment of \$1 to 1.5 billion to restore ecosystem functions in watersheds for New York City, resulted in a saving of \$6 to 8 billion in water treatment plants (CHICHILNISKI; HEALD, 1998). The annual environmental value of C sequestration in the U.S. Great Plains is estimated at US\$200, four times as great as the net private returns to farmers for meat, wool, and milk, and about half the market value of the land (PRETTY et al., 2001). In New Zealand, the value of extra organic matter gained through C sequestration is estimated at \$16.50 to \$91.50 ha⁻¹ yr⁻¹. The environmental services of sequestering C and N to mitigate air and water pollution is 42 to 73 times higher than the lost agricultural production value due to land degradation (SPARLING, et al., 2006).

¹⁴ Overall, land degradation probably affects more than 2.6 billion people in more than 100 countries. The economic cost is generally estimated to range between 1 and 9 percent of agricultural (cropping) gross domestic product (GDP) in selected countries in Africa, resulting in an annual cost of approximately \$10 - 90 billion (REQUIER-DESJARDINS; BIED-CHARRETON, 2006).

Expansão da agricultura
brasileira e relações com
as mudanças ambientais

Parte II





Foto: Vinicius de Melo Benites
EMBRAPA SOLOS

Lúcia Helena Cunha dos Anjos

Marcos Gervasio Pereira

A expansão da agricultura brasileira se fez, tradicionalmente, em um modelo de ampliação de fronteiras agrícolas. Este modelo se iniciava com a remoção da cobertura original, nos vários biomas e ecossistemas, e prosseguia com a substituição de tipos de usos, na medida em que aspectos econômicos e/ou o empobrecimento das terras conduziam a sua menor produtividade. O que, em muitos casos, conduziu a um cenário de ambientes cada vez menos diversos e a degradação dos recursos naturais solos e água. Infelizmente, o modelo descrito ainda é praticado em várias regiões do Brasil.

No início de sua história, a agricultura brasileira era predominantemente extrativista, como caracterizado pelos ciclos de extração do pau-brasil, da produção de cana-de-açúcar e do café, em geral seguidas de pastagens extensivas, e, em todos os usos. O mercado principal era a exportação. Hoje, embora ainda seja importante o papel da agropecuária na balança de exportação do país, o desenvolvimento de tecnologias e o aumento de produtividade elevaram o Brasil a um outro patamar no cenário internacional. O país está entre os primeiros colocados no mundo na produção de grãos, de frutos, de produtos industriais derivados da cana-de-açúcar e de carne, entre outros. É destaque ainda a silvicultura, com o plantio de florestas homogêneas para atendimento a demanda interna de papel (celulose), movelaria, construção e siderurgia, reduzindo parte da pressão ambiental sobre as florestas nativas.

Esse estado foi alcançado através do fortalecimento de instituições de pesquisas e ensino no Brasil, nos níveis federal e estadual, e pelo desenvolvimento de pesquisas básicas e aplicadas com

base nas peculiaridades de solo e clima brasileiras. Dentre estas tecnologias, destacam-se: a fixação biológica de nitrogênio e o melhoramento da soja que levou a cultura às várias regiões do Brasil; o sistema de plantio direto, que se expandiu como em nenhum outro país, com grande impacto positivo na produção de grãos, além dos benefícios na conservação do solo; as tecnologias de produção de espécies florestais; o fortalecimento da agricultura familiar, em algumas regiões do Brasil; e, nos estudos básicos, é o único país em desenvolvimento a criar um sistema próprio de classificação de solos, permitindo assim o conhecimento deste bem e o adequado planejamento de uso deste recurso natural, que é lentamente renovável.

A partir do final do século XX, a preocupação ambiental e os conceitos de produção agrícola sustentável passam a ter maior ênfase. Hoje, eles permeiam os modelos de desenvolvimento e de pesquisa apregoados nas instituições de ensino e pesquisa, bem como nos diversos níveis dos setores governamentais e empresariais, com atividades relacionadas à agricultura. Aos poucos, ações de planejamento de uso do solo e da água e de zoneamento agrícola e ambiental tornam-se parte dos programas de expansão da agricultura e pecuária, bem como estudos sobre os impactos desta atividade sobre as mudanças ambientais, em um nível local e global. O país torna-se referência mundial em temas como utilização de energia renovável a partir de produtos da agricultura.

Porém, ainda há muito que caminhar neste tema. A erosão das terras, ainda é tema atual, contribui negativamente para mudanças ambientais pela redução da qualidade dos recursos solo e água. Impactos na emissão de gases de efeito de estufa, oriundos da pecuária, lavouras e do desmatamento são frequentes no cenário de produção agrícola brasileiro. A expansão agrícola e pecuária na Amazônia e em parte do Cerrado ainda se fazem às custas do desmatamento e queimadas, sem controle ou práticas sustentáveis e de respeito às leis ambientais. O crescimento da população humana e sua concentração em núcleos urbanos aumentam a demanda de alimentos e outros produtos derivados da agricultura, com maior geração de resíduos, contaminação dos recursos solo e água e redução da biodiversidade, além da falta de planejamento e controle na ocupação do solo no processo de expansão das áreas agrícolas e das cidades.

Estas são as exigências para o desenvolvimento sustentável da atividade agropecuária brasileira, com modelos de manejo agrícola, florestal e ambiental que reduzam o impacto da expansão da agricultura, e ainda assim, permitam ao país preservar sua maior reserva de riqueza - a diversidade de seus ecossistemas, os solos e a água.

Os textos apresentados neste tema de Expansão da Agricultura Brasileira e Relações com as Mudanças Ambientais ilustram a importância de estudos básicos e aplicados relacionados à pedologia, geotecnologias e modelagem, no manejo e conservação do solo e da água, remediação de áreas impactadas por ações antrópicas, um breve relato sobre o planejamento do uso da terra em microbacias hidrográficas na região sul do Brasil, finalizando com dois estudos de casos sobre a relação entre aspectos ambientais e pedológicos, influenciando o manejo de fertilizantes e resíduos no ambiente da Amazônia Sul-Occidental e o manejo do solo e da água em perímetros irrigados da região nordeste do Brasil.

Reproduzindo e traduzindo frase de Hugh Hammond Bennett – Da longa lista de presentes da natureza para a humanidade, nenhuma é talvez tão absolutamente essencial para a vida humana como o solo (*“Out of the long list of nature’s gifts to man, none is perhaps so utterly essential to human life as soil”*).

Mais de 70 anos se passaram da citação acima. Por que ainda não vemos a importância do recurso solo ou a sua relação com a agricultura e as mudanças ambientais?

Muitas informações e pesquisas importantes são apresentadas nos eventos acadêmico-científicos e estas devem ser apreciadas. Porém, as mudanças exigidas nos modelos de produção agrícola, frente às questões ambientais do século XXI, exigem a popularização deste conhecimento e a sua divulgação ampla para a sociedade. Somente desta forma, os recursos solo e água serão devidamente valorizados e, portanto, preservados e utilizados de forma consciente e sustentável.

*Doracy Pessoa Ramos
Luiz de Moraes Rego Filho*

Introdução

Os solos e a água são recursos naturais essenciais. O primeiro como fator fundamental à produção de alimentos e o segundo como componente bioquímico dos seres vivos e como meio de vida de várias espécies vegetais e animais. Os dois formam o binômio básico da sustentabilidade do homem, seja como componente essencial ou como elementos representativos de valores sociais, culturais e de produção de bens de consumo. O crescimento demográfico e o desenvolvimento socioeconômico são frequentemente acompanhados de rápido aumento do uso dos recursos solo e água, nos setores industrial, doméstico e da produção de alimentos. Para preservar e garantir o acesso das futuras gerações a esses recursos, o Brasil necessita urgentemente de ações que levem ao planejamento do uso adequado das terras, que segundo Hudson (1971) é o passo mais importante na direção do uso sustentável e para a conservação dos recursos solo e água.

Este passo foi iniciado com os trabalhos pedológicos a partir dos anos 50, quando o projeto de conhecimento e mapeamento dos solos brasileiros teve praticamente seu início, alcançando nas décadas de 60, 70 e 80, grande avanço de conhecimento. Este avanço, motivado pela necessidade da realização da Carta de Solos do Brasil, (EMBRAPA, 1981) produziu uma série de documentos técnicos de elevada importância, entre os quais os Levantamentos de Solos do Estado de São Paulo e do sul do Estado do Mato Grosso, que não só aprimoraram os conhecimentos em torno dos solos oxídicos, sob vegetação de

cerrado, mas também possibilitaram o domínio do conhecimento do uso e manejo desses solos, tornando o Brasil Central um dos maiores celeiros de produção de grãos do mundo.

No presente momento praticamente todos os Estados brasileiros dispõem de informações relativas às suas principais classes de solos, ao nível de levantamento de reconhecimento exploratório. Este acervo, que reúne mais de 1.500 descrições morfológicas de perfis padrões representativos das classes de solos brasileiros, acompanhadas de número superior a duzentas mil análises físicas, químicas e mineralógicas, é um dos maiores do mundo e certamente o maior no que se refere a solos tropicais. Nestes levantamentos estão contidas todas as características morfológicas, físicas, químicas, físico-químicas, mineralógicas e biológicas dos solos, além de importantes informações relativas ao seu material de origem, cobertura vegetal e de relevo local e regional que, devidamente interpretadas em suas relações, definem e diferenciam suas principais fraquezas e fortalezas, às diferentes ocupações.

Importância do acervo de conhecimentos pedológicos

A Tabela 1 apresenta como exemplo da importância deste acervo científico algumas destas características presentes nos horizontes principais A e B de importantes classes de solos brasileiros. Os perfis selecionados P1-LUVISSOLOS CRÔMICOS Órticos típicos (GUIA..., 2000); P2 - CHERNOSSOLOS EBÂNICOS Órticos vertissólicos (GUIA..., 2000); P3 - PLANOSSOLOS HÁPLICOS Eutróficos solódicos (REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA DE SOLOS, 1978); P4 - ARGISSOLOS VERMELHOS Distróficos abrupticos (REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA DE SOLOS, 1983); P5 - NITOSSOLOS HÁPLICOS Distróficos típicos (GONÇALVES, 1986); P6 - LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS Ácricos típicos (CAVALCANTI, 1977); P7 - LATOSSOLOS VERMELHOS Perférricos húmicos (BRASIL, 1983) são padrões definidos pela comunidade pedológica que tipificam no quarto nível categórico do nosso sistema de classificação, classes de solos de alta expressão geográfica e de elevada importância no processo produtivo alimentar.

As características utilizadas e apresentadas nesta Tabela 1 são fundamentais tanto na diferenciação entre indivíduos como na indução e constituição de propriedades importantes relativas ao uso e manejo deste ambiente para os diferentes fins. São importantes ainda no controle da qualidade do serviço de levantamento efetuado, em especial, na relação entre a morfologia de campo e os dados laboratoriais utilizados na caracterização dos indivíduos. Mesmo de forma simplificada, em relação ao acervo disponível, estes dados permitem visualizar típicas variações na formação dos nossos solos tropicais, identificadas pela mineralogia dominante da fração argila e por suas relações com as demais características químicas e morfológicas.

A Figura 1 sintetiza estas relações e mostra que a partir de dados da mineralogia e de suas relações com outras características químicas e morfológicas, podem-se inferir indicadores que possibilitam diferenciar estes perfis por níveis de propriedades como fertilidade natural, irrigabilidade, mecanização, risco à erosão e risco à poluição, todas elas importantes no manejo e conservação do solo e da água.

Tabela 1. Características dos horizontes A e B dos perfis selecionados.

	Horizontes	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Características								
MINERALOGIA (Fração argila)	B	K, V	K / E, I	K	K	K Go G	K Go G	Go, K
Ki	A	2,6	3,1	4,1	2,4	1,7	0,8	0,1
(SiO ₂ % / Al ₂ O ₃ % (Relação Molecular)	B	2,2	2,5	2,5	2,1	1,7	0,6	0,1
Fe ₂ O ₃ (g kg ⁻¹)	A	23	25	16	15	66	134	650
	B	59	37	72	48	94	141	675
D pH (pH KCl - pH H ₂ O)	A	-1	-0,8	-1,4	-1,3	-0,9	-0,4	-0,8
	B	-0,8	-1,6	-1,7	-1,5	-1,1	0,3	0,2
Valor T (Cmol. Kg ⁻¹ argila)	B	30	54	24	8	3	0,4	1,3
Estrutura (Classe e Tipo)	A	MB	GrB	PG	PG	PG	PG	PG
	B	MB	GrB	CD	MB	PB	MPG	MPG
Consistência a seco	A	Ld	D	Ma	Ld	Ld	Ma	Ma
	B	D	Ed	Ed	Ld	D	Ma	Ma
Classe Textural	A	Ar	Ar	Ar	Me	Me	Me	Me
	B	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar
Horizonte B diagnóstico	Bt	Bt	Bt	Btx	Bt	Bt	Bw	Bw
Relevo	OND / FO	SO	OND	SO	SO	FO / OND	PL / SO	OND / FO

Legenda: MINERALOGIA: K, V = Caulinita e Vermiculita; K / E, I = Interestratificados Caulinita, Esmectita e Ilita; K = Caulinita; K Go G = Caulinita; Go G = Caulinita; Goetita e Gibbsita; K Go G = Caulinita, Goetita e Gibbsita; Go, K = Goetita e Caulinita. Estrutura: PG = Pequena granular; PB = Pequena Blocos; GrB = Grande Blocos; CD = Colunar Dispersa; MPG = Muito pequena granular. Consistência a seco: Ld = Ligeiramente duro; D = Duro; Ma = Macio; Ed = Extremamente duro.

Classe Textural: Ar = Argila; Me = Média. Relevo: PL = Plano; SO = Suave ondulado; OND = Ondulado; FO = Forte ondulado.

Tabela 2. Hierarquia de importância entre os fatores do nível 4 (para classes pedoecológicas), entre os fatores do nível 3 (para classes agropedoecológicas), e para a “favorabilidade de terras para agricultura familiar”.

	Horizontes	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Características								
MINERALOGIA (Fração argila)	B	K, V	K / E, I	K	K	K Go G	K Go G	Go, K
Ki (SiO ₂ % / Al ₂ O ₃ % (Relação Molecular))	A	2,6	3,1	4,1	2,4	1,7	0,8	0,1
	B	2,2	2,5	2,5	2,1	1,7	0,6	0,1
Fe ₂ O ₃ (g kg ⁻¹)	A	23	25	16	15	66	134	650
	B	59	37	72	48	94	141	675
D pH (pH KCl – pH H ₂ O)	A	-1	-0,8	-1,4	-1,3	-0,9	-0,4	-0,8
	B	-0,8	-1,6	-1,7	-1,5	-1,1	0,3	0,2
Valor T (Cmol _c Kg ⁻¹ argila)	B	30	54	24	8	3	0,4	1,3
Estrutura (Classe e Tipo)	A	MB	GrB	PG	PG	PG	PG	PG
	B	MB	GrB	CD	MB	PB	MPG	MPG
Consistência a seco	A	Ld	D	Ma	Ld	Ld	Ma	Ma
	B	D	Ed	Ed	Ld	D	Ma	Ma
Classe Textural	A	Ar	Ar	Ar	Me	Me	Me	Me
	B	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar
Horizonte B diagnóstico	Bt	Bt	Bt	Btx	Bt	Bt	Bw	Bw
Relevo	OND / FO	SO	OND	SO	SO	FO / OND	PL / SO	OND / FO

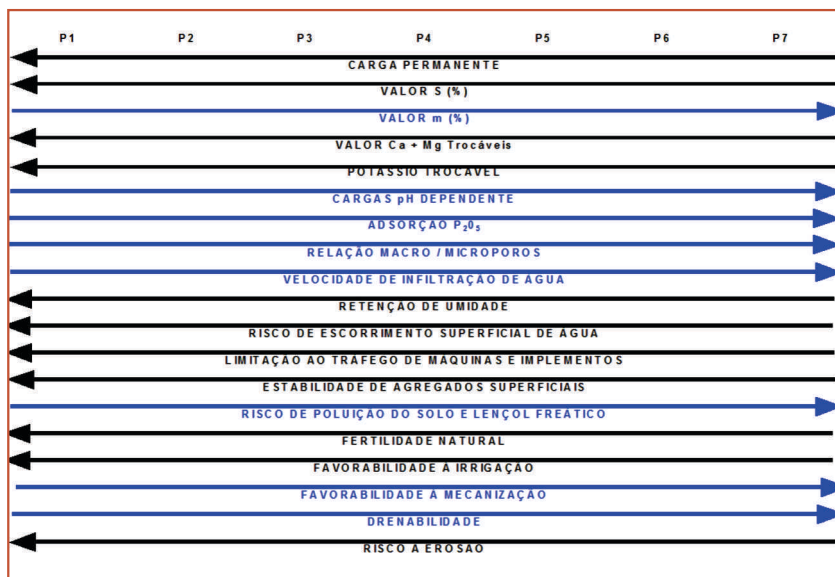


Figura 1. Tendências da variabilidade de indicadores e propriedades entre os perfis selecionados.

Sabendo-se que os dados aqui apresentados correspondem a uma parcela irrisória do disponível no acervo de nossos conhecimentos, evidencia-se o quanto é possível avançar no planejamento de nossas terras, de forma a realmente contribuir para o melhor manejo e conservação de nossos recursos naturais solo e água.

Exemplos típicos da utilização deste acervo são os zoneamentos produzidos pela Embrapa para o Estado do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, entre outros.

Independente do ano de realização, os levantamentos pedológicos que geraram esse acervo são de elevado nível técnico e alta precisão, no estabelecimento e diferenciação das classes taxonômicas, comportando com pequenos ajustes, referentes à atualização da classificação, seu uso imediato para planejamentos de uso das terras no nível de estado, macro-regiões ou país. Portanto, interpretações voltadas para focos específicos como zoneamentos agrícolas e agroecológicos, estradas interestaduais, dutos interestaduais, transposição de águas e outros, podem imediatamente se beneficiar deste acervo para seu planejamento. Algumas realizações nesse nível foram conduzidas, mas, são em número muito pequeno, em relação à disponibilidade dos conhecimentos pedológicos existentes. Este fato pode ser explicado por várias causas: a primeira delas, relativa à dificuldade dos planejadores de entenderem os dados disponíveis e por isso, nos seus planejamentos, priorizarem parâmetros econômicos sem levar em conta as variáveis morfológicas, físicas, químicas, biológicas e mineralógicas desse ambiente. A segunda por conta do pequeno empenho dos próprios pedólogos na divulgação e transmissão desses conhecimentos não só aos tomadores de decisão, mas principalmente, aos pesquisadores das áreas correlatas da Ciência do Solo, que invariavelmente consideram estes estudos de baixo valor científico. A terceira e mais importante de todas, pelo pequeno apoio financeiro destinado a continuidade destes estudos pelas agências financiadoras de pesquisa dos governos federal, estadual e municipal, especialmente a partir da conclusão da Carta de Solos. Finalmente pelo decréscimo de interesse de jovens pesquisadores desta área da Ciência do Solo, pela dificuldade de publicação de seus resultados, considerados de baixo valor como produção científica, valendo muitas vezes o equivalente somente a um terço de um trabalho publicado em revista científica.

Sendo o mapeamento de solos o setor da pedologia que utiliza os conhecimentos de gênese, geomorfologia, material originário, relevo, e aspectos de macro drenagem para espacializar as classes de solos, pouco esforço necessita ser desenvolvido para, a partir do acervo existente, gerar levantamentos mais detalhados, que possam ser utilizados como base de planejamento de macro e micro regiões ou mesmo ao nível de produtor rural.

Recentemente, utilizando os conhecimentos gerados por aplicativos como o de Aptidão Agrícola, estão sendo realizadas interpretações visando à organização e planejamento da produção agrícola tendo como foco principal, os ganhos sociais, econômicos e ambientais. Ela envolve a análise multicriterial de apoio à decisão, suportada por modelos baseados em conhecimento associados, a um processo analítico hierárquico com combinação linear de pesos.

Na análise multicritério, trabalha-se com estratégia de decisão que combina critérios úteis objetivando proceder a uma determinada avaliação escolhida entre as possíveis alternativas. As decisões são tomadas com base em critérios, que são variáveis possíveis de serem medidas e avaliadas. Os critérios podem ser fatores e restrições. Um fator é um critério que realça ou diminui a adequabilidade de uma alternativa específica, para uma atividade ou objetivo. As restrições são limitadores das alternativas em consideração. O procedimento e a forma para a escolha dos critérios e a metodologia para combiná-los são denominados regras de decisão, que são os procedimentos para combinar graus de adequabilidade de múltiplos critérios para determinado objetivo.

Seguindo essa metodologia Costa, et al. (2005), produziram a partir de informações disponíveis em relação a solos, clima, infraestrutura, socioeconomia e restrições ambientais, além dos mapas parciais de classes agropedoecológicas, de infraestrutura e de socioeconomia, o mapa de distribuição de classes de favorabilidade das terras para a agricultura familiar (Figura 2), de acordo com hierarquia de importância entre os fatores constantes da Tabela 2.

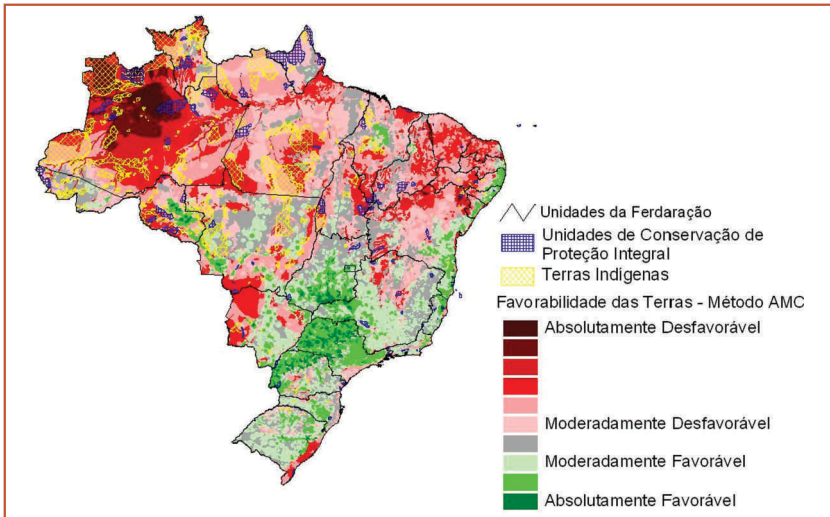


Figura 2. Terras favoráveis para a agricultura familiar.
Fonte: Costa et al. (2005).

Tabela 2. Hierarquia de importância entre os fatores do nível 4 (para classes pedoecológicas), entre os fatores do nível 3 (para classes agropedoecológicas), e para a "favorabilidade de terras para agricultura familiar".

Classes Pedoecológicas	Classes Agroecológicas	Fertilidade	Relevo	Drenagem	Textura	Valor T (Ta,Tb)
Classes Agroecológicas	1					
Fertilidade	1	1				
Relevo	1/3	1/3	1			
Drenagem	1/3	1/3	1	1		
Textura	1/5	1/5	1/3	1/3	1	
Valor (Ta, Tb)	1/3	1/3	1	1	3	1
Classes Agropedoecológicas	Classes Pedoecológicas	Pluviosidade	Produtividade			
Classes Pedoecológicas	1					
Pluviosidade	1/3	1				
Produtividade	1/5	1/3	1			
Favorabilidade de Terras para Agricultura Familiar		Classes Agropedoecológicas		Infra Estrutura		Sócio-Economia
Classes Agropedoecológicas		1				
Infraestrutura		1/3		1		
Socioeconomia		1/3		1		1

Esta contribuição técnico-científica gerada pela Embrapa Solos por solicitação do INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária) serve de instrumento de planejamento da política pública de assentamentos rurais no Programa Brasileiro de Reforma Agrária. Nela, estão claramente identificadas não só as fraquezas das terras para a produção a nível familiar, mas também, os limitantes de infraestrutura, de atendimento social e de escoamento da produção, que tornam impossível o sucesso de projetos de agricultura familiar,

sem a devida atuação dos governos federal, estadual e municipal para mitigar essas limitações.

Com base nos dados de solos, de clima, da produtividade da cultura do maracujazeiro, de infraestrutura, de socioeconomia e restrições ambientais do Estado do Rio de Janeiro está sendo realizado para os projetos Gerenciamento Integrado de Agroecossistemas em Microbacias Hidrográficas do Norte-Noroeste Fluminense (RIO RURAL - GEF) e Inovação tecnológica para o desenvolvimento sustentável da cadeia produtiva do maracujá no arranjo produtivo local da região Norte Fluminense (Embrapa, UENF, PESAGRO), o potencial de uso das terras considerando-se o nível de manejo B, (RAMALHO FILHO, 1994) Esta interpretação segue os indicadores e respectivos níveis de análise e formato da Tabela 3.

Tabela 3. Indicadores utilizados nos diferentes níveis de interpretação para obtenção do potencial de uso das terras do Estado do Rio de Janeiro para a produção do maracujazeiro.

Nível 1	Nível 2 MACROFA TORES	Nível 3 FATORES	Nível 4 MICROFATORES	Nível 5 INDICADORES
POTENCIAL DE USO DAS TERRAS	AGROPEDO- ECOLOGIA (AMBIENTE DE PRODUÇÃO)	PEDO-ECOLOGIA	FERTILIDADE	CTC, Saturação de Bases; Alumínio Trocável; Condutividade Elétrica do extrato de saturação; Relação Ca / K, Ca + Mg / K; Fósforo Assimilável.
			DRENABILIDADE	Textura Superficial e Subsuperficial; Relação de Volumens; Camadas ou Horizontes de Impedimento; Qualidade da Argila, Tipo de Estrutura e Relevo.
			IRRIGABILIDADE	Relevo; Horizontes ou Camadas de Impedimento; Textura e Estrutura; Retenção de Umidade; Tipo de Manancial de Água; Qualidade da água.
			MECANICIDADE	Relevo, Rochosidade e Pedregosidade; Qualidade da Argila; Camadas ou Horizontes de impedimento.
			ERODIBILIDADE	Relevo; Textura e Estrutura; Qualidade da Argila; Relação de Volumens; Profundidade; Horizontes ou Camadas de Impedimentos; Taxas de Infiltração.
			POLUIÇÃO SOLO E ÁGUA	- Reatividade da fração coloidal; - Permeabilidade; - Profundidade do lençol freático.
		AGROCLIMÁTICO	CLIMA	Temperatura
				Precipitação
				Luminosidade
				Vento
	Umidade Relativa do Ar			
	PRODUTIVIDADE	Sistema B		
	INFRA- ESTRUTURA	Classes de Rodovias	% de faixa dupla asfaltada	
		Classes de Sedes	Distância da Sede à Cidade	
		Classes de Cidades	Serviços, Saúde.	
	SÓCIO ECONOMIA	DENSIDADE DEMOGRÁFICA		
		ÍNDICE DE RENDA IDH		
		ÍNDICE DE EDUCAÇÃO IDH (Família, produtor, empregados).		
		Disponibilidade de Crédito		
		Mercado (colocação de produtos a preços mais competitivos)		
Transporte (Custo. Próprio / Tercetizado).				
Mão-de-obra qualificada				
Residência				
RESTRIÇÕES AMBIENTAIS	UNIDADES DE CONSERVAÇÃO			
	ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA CONSERVAÇÃO			
	TERRAS INDÍGENAS			

Referências bibliográficas

CAVALCANTI, A. C. **Estudo de Latossolos argilosos do Planalto Central do Brasil. Caracterização, distinções de acordo com duas superfícies de aplainamento, gênese e classificação.**1977. Tese (Mestrado em Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí.

CHAGAS, C. S. et al. **Zoneamento Agropedoclimático do Estado de Santa Catarina.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. (Embrapa Solos. Documentos, 17). 1.CD ROM.

CHAGAS, C. S. et al. **Zoneamento pedoclimático do Estado do Paraná para a cultura do algodão herbáceo.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2001. (Embrapa Solos. Documentos, 38). 1.CD ROM.

CHAGAS, C. S. et al. **Zoneamento pedoclimático do Estado do Rio Grande do Sul para a cultura da Cana-de-açúcar.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. (Embrapa Solos. Documentos, 39) 1.CD ROM.

COSTA, T. C. E. C.; RAMOS, D. P.; PEREIRA, N. R.; BACA, J. F. M. Favorabilidade de terras para a agricultura familiar por meio da análise multicritério. **Geografia**, v. 14, n. 2, jul./dez. 2005.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Mapa de solos do Brasil.** Rio de Janeiro, 1981. 1 Mapa colorido. Escala 1:5.000.000.

GUIA de excursão de estudos de solos nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO E APLICAÇÃO DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 6., Campinas, 2000. **[Anais...]** Colombo: Embrapa Florestas; Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Campinas: IAC, 2000. 222 p.

HUDSON, N. **Soil Conservation.** New York: Cornell University Press, 1971. 302 p.

MACHADO FILHO, L.; RIBEIRO, M. W.; GONZALEZ, S. R. et al. **Geologia** In: Brasil. Ministério de Minas e Energia. Projeto RadamBrasil. Folha SF. 23. Rio de Janeiro e SF.24 Vitória. Rio de Janeiro: MME, 1984. (Levantamento de Recursos Naturais, 32).

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3. ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA – CNPS, 1994.

RAMOS, D. P. et al. **Análise Multicriterial utilizada na destinação do uso das terras do Estado do Rio de Janeiro para a produção de maracujazeiro e oleaginosas**. Campos de Goytacazes: UENF, 2008. Projeto de pesquisa em andamento.

REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA DE SOLOS, 1., Rio de Janeiro, 1978. [Anais...] Rio de Janeiro: [EMBRAPA-CNPS], 1978. 122 p.

REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA DE SOLOS, 2., Rio de Janeiro, 1983. [Anais...] Rio de Janeiro: [EMBRAPA – CNPS], 1983. 138 p.

SANTOS, H. G. **Solos intermediários entre Latossolo Vermelho-Amarelo e Podzólico Vermelho-Amarelo. Argila de atividade baixa: Conceituação e distinção**. 1986. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí.

Isabella Clerici De Maria

Introdução

A conservação do solo reúne ações e práticas que visam à manutenção e melhoria da qualidade do solo. O controle da erosão acelerada é um dos pontos centrais da conservação do solo, uma vez que a erosão hídrica é uma das principais causas da degradação dos solos nas regiões tropicais. Do ponto de vista edafológico e ambiental, a erosão é um processo que promove o arraste de partículas minerais, de matéria orgânica e de nutrientes vegetais, reduzindo a produtividade agrícola, produzindo poluição e assoreamento de cursos de água.

O avanço do conhecimento e da pesquisa em erosão do solo e o desenvolvimento tecnológico para o controle da erosão foram importantes componentes na busca da sustentabilidade agrícola e continuam fundamentais para a agricultura e para o ambiente, diante das exigências sociais e econômicas atuais.

A evolução desse campo do conhecimento, a ciência da erosão e da conservação do solo, neste momento, dá-se com auxílio das geotecnias, da computação, da modelagem matemática, tanto na pesquisa como na tecnologia de controle de erosão.

Estado da arte

Analisar a evolução do conhecimento e dos estudos da erosão nos últimos 100 anos auxilia a compreensão do atual estado da arte da utilização de geotecnologias e de modelos de predição da erosão aplicados ao manejo e à conservação do solo. Tentativamente, será feito

um relato separando em etapas, que naturalmente se sobrepõe no tempo e ocorrem simultaneamente, que descreve como os modelos se tornaram mais complexos e se associaram às geotecnologias.

Primeira etapa: segurar a terra e a água - experiências

Datam de 1893 os primeiros registros de trabalhos com técnicas para controle da erosão em áreas agrícolas. Dessa época até os anos 40 foram estudados e recomendados curvas de nível, enleiramento permanente, canais escoadouros, terraços-patamar, cordões de árvores, terraços de base estreita, e cordões em contorno. O objetivo dos técnicos e pesquisadores era apresentar aos agricultores opções para conter a erosão. O dimensionamento dessas práticas conservacionistas era feito com base em experiências pessoais e tabelas práticas, considerando tipo de solo e declividade.

Representam essa etapa terraços com camalhões enormes (murunduns) até a década de 80 e, mais recentemente, bacias de contenção (utilizadas programa de microbacias do Estado de São Paulo em áreas onduladas) e o *mulching* vertical. Diante de sério problema, apresentam-se soluções práticas, com base nas experiências e pesquisas anteriores, sem necessidade de extensiva experimentação ou desenvolvimento teórico.

Segunda etapa: acumular conhecimento para uso no controle da erosão – experimentação

A partir dos anos 40, iniciam-se os estudos quantitativos sobre o processo erosivo no Instituto Agrônômico (IAC), determinando perdas por erosão sob os mais diferentes usos e manejos em função de tipos de solos e clima. Esses estudos foram ampliados, por outras instituições para todas as regiões brasileiras e geraram dados e conhecimentos sobre a magnitude da erosão, sobre o potencial controle das perdas pelos diferentes sistemas de manejo, sobre a importância da cobertura no controle da erosão, sobre a redução da produtividade, a degradação do solo e os prejuízos financeiros causados pela erosão. Grande parte desses estudos foi conduzida em parcelas, sob chuva natural ou simulada, medindo-se perdas de terra, de água e de

elementos arrastados ou dissolvidos. O foco desses trabalhos foi o solo, e os prejuízos para a produção e para o produtor rural.

Nessa etapa, o planejamento de medidas necessárias para evitar a erosão e suas consequências é visto como dependente da determinação da extensão da erosão e da avaliação dos fatores que atuam no processo erosivo. Os resultados e conhecimentos gerados pelos estudos realizados foram aplicados no desenvolvimento de tecnologia para a produção agrícola sustentável, como tabelas para dimensionamento das práticas de controle de erosão que foram ampliadas e revistas, passando a considerar como fatores importantes o uso e o manejo do solo, por exemplo. A evolução dos sistemas de manejo conservacionistas teve apoio na quantificação e informações obtidas sobre a manutenção da cobertura na superfície do solo e da estabilidade da estrutura. O enfoque da conservação do solo passa a ser o manejo.

Os dados obtidos permitem também o desenvolvimento dos modelos matemáticos para predição ou simulação da erosão, com o intuito de quantificar a erosão dos solos e o efeito da utilização da terra e das práticas de manejo das culturas e áreas florestais. Os modelos representam os processos envolvidos nas diversas fases da erosão, por meio de parâmetros e equações matemáticas.

Nessa fase, o modelo de erosão mais conhecido e mais utilizado é a USLE, um modelo estatístico, mirando a erosão na escala de parcelas. Em função desse modelo estudos para determinação de parâmetros são desenvolvidos e mais conhecimento é gerado. Do ponto de vista da conservação do solo parece que os problemas já estão bem resolvidos em relação ao manejo e, especialmente com o sistema plantio direto, a erosão pode ser controlada.

Terceira etapa: evolução do conhecimento - modelos físicos

O conhecimento e experiências acumulados mostraram que os impactos da erosão do solo estão relacionados aos prejuízos ao ambiente e à perda de produtividade das culturas, o que significa que o controle do processo erosivo é importante para garantir tanto a segurança alimentar como a proteção ambiental. Por isso mesmo, a extensão dos danos provocados pela erosão envolve não apenas a

perspectiva dos produtores rurais, mas de toda a sociedade.

A dinâmica dos processos erosivos varia com a escala, em função, principalmente, da concentração de volume e da velocidade do escoamento superficial. Os modelos devem levar em consideração essa dinâmica na paisagem e as diferenças entre processos (sulcos, entressulcos) para determinar a erosão, como faz o modelo WEPP, representando os modelos físicos. Os estudos, mais uma vez, voltam-se para a determinação de efeitos e parâmetros, na obtenção de dados e equações calibradas para aplicação desses modelos na conservação dos solos. Geram-se informações mais detalhadas para explicar e controlar o processo erosivo. Modelos para descrever outros processos erosivos como ravinas e voçorocas também são desenvolvidos. Com esses modelos, a quantidade de informações, dados e calibrações aumenta substancialmente.

A evolução do conhecimento e do controle da erosão no nível de parcela indica que o controle de perda de terra está praticamente resolvido. Mas aos problemas que continuam ocorrendo no campo associa-se a poluição difusa. O foco volta-se para a água e para os modelos hidrológicos.

Quarta fase: modelos e geotecnologias associados para planejamento e controle da erosão

Do ponto de vista da conservação do solo e da água, a unidade de terreno para planejamento de ações deve ser uma bacia hidrográfica ou microbacia, sendo a microbacia mais comumente referida, porque é nessa unidade que todos os processos erosivos, associados aos processos hidrológicos, estão representados. A avaliação da erosão nessas condições, portanto, também tem grande importância na evolução do conhecimento e da tecnologia de controle da erosão, especialmente no planejamento de bacias e microbacias hidrográficas em programas de conservação e uso da água, conservação de solos e proteção ambiental. No planejamento, a identificação de áreas agrícolas suscetíveis aos processos erosivos e os efeitos das atividades desenvolvidas podem servir como base para ações concretas, visando melhorar qualidade das águas superficiais. Com essa visão, trabalhos que avaliam potenciais áreas de degradação e poluição, empregando

modelos de erosão associados às técnicas de SIG são realizados. Também nesses casos são necessários mais estudos para calibrar os modelos e os parâmetros, determinando-se valores de vazão, carga de sedimentos e elementos arrastados em condições reais.

A equação universal de perdas de solo é o modelo de predição de erosão mais largamente utilizado. Embora tenha sido desenvolvida para utilização no planejamento de glebas, no Brasil, não tem sido utilizada como instrumento para recomendações de manejo aos proprietários rurais. Mais comum, tem sido sua utilização em avaliações de potencial de risco ou susceptibilidade a erosão, associada aos (SIGs), embora esse modelo não seja apropriado para avaliação espacial da erosão.

Os modelos totalmente integrados com os SIGs são a tendência natural na evolução da predição da erosão, mas o desenvolvimento de ferramentas para a associação de modelos aos SIG tem sido bastante valioso, especialmente para utilização da base de dados gerados até o momento.

Como exemplo da associação da conservação do solo com geotecnologias, o exemplo do terraceamento agrícola mostra atualmente tabelas de espaçamento e equações para dimensionamento em programas que permitem a utilização de informações climáticas georreferenciadas e a geração de resultados já aplicados em SIGs.

Considerações e tendências

Ações diretas e contínuas são necessárias para desenvolver e adaptar modelos, quantificar fatores que atuam no processo erosivo, quantificar fatores e parâmetros de degradação dos recursos naturais e construir ferramentas geotecnológicas para espacializar a erosão na paisagem, visando à adaptação de práticas de controle de erosão e de manejo dos solos, utilizando o planejamento de bacias hidrográficas como ferramenta para solucionar problemas e propor medidas para a conservação do solo e preservação dos recursos naturais.

Dos primeiros modelos, estatísticos e com poucos parâmetros, aos atuais, com base em relações físicas, que contemplam muitos processos e grande quantidade de dados, os modelos se tornaram mais complexos e se associaram aos SIGs. A escolha do modelo a ser utilizado

em estudos ou para aplicação em programas de conservação do solo depende, sobretudo, da base de dados disponível.

Valiosos têm sido os esforços de modelar a erosão na paisagem, tendo como unidade uma bacia hidrográfica, utilizando para isso as geotecnologias disponíveis, para subsidiar programas e projetos para conservação do solo e da água.

Há relativamente poucos estudos sobre a erosão no Brasil. Faltam parâmetros ajustados às condições locais e dados para entrada nos modelos. Mesmo os modelos considerados físicos, apresentam equações com parâmetros empíricos que precisam ser determinados ou avaliados para as condições locais, especialmente para modelos desenvolvidos em outros países, com solos, climas e paisagens diferentes. Essa é a principal limitação no uso de modelos, e mesmo para o desenvolvimento de novas propostas de modelos para determinado local ou região. Mesmo para a EUPS e todos os modelos que utilizam seus parâmetros, faltam dados, as informações estão dispersas, muitas vezes não publicadas. E, por isso, os resultados obtidos com esses modelos têm um caráter qualitativo, mais do que quantitativo. Pode-se comparar em um mesmo estudo regiões com maior ou menor risco de erosão, maior ou menor produção de sedimentos, maior ou menor volume de escoamento superficial, mas não valores de perdas de terra ou volume de sedimentos que chegam aos cursos de água.

A utilização indiscriminada dos modelos, desconsiderando limites estabelecidos na concepção e no desenvolvimento desses modelos, também precisa ser revista. É preciso conhecer o modelo, entender suas equações básicas, o significado dos dados de entrada e dos dados de saída. Não é possível ter informações mais exatas do que a exatidão dos dados de entrada. Não é possível obter melhor a estimativa da perda de solo com modelos físicos ou com modelos com mais equações, se não há informações básicas suficientes sobre o clima e o solo locais. Em estimativas de erosão em microbacias, utilizando modelos associados à SIGs, as informações sobre solos representam uma grande limitação: é necessário um mapa de solos na escala adequada e os dados analíticos que os modelos precisam para cada uma das unidades de solos mapeadas.

Referências bibliográficas

BARBOSA, N.L.N. Bacias de contenção preservam solo e água em regiões onduladas. In: SIMPÓSIO SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA. **Rumos e Perspectivas da conservação do solo e da água para o Estado de São Paulo**: anais. Campinas: CATI: CDA: APTA, 2008. p. 128-131.

BARRETTO, A. G. O. P. **História e Geografia da pesquisa brasileira em erosão do solo**. 2007. 120 f. Dissertação (Mestrado) - ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BERTOL, I.; COGO, N. P. **Terraceamento em sistema de preparo conservacionista de solo**: um novo conceito. Lages: Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 1996. 41 p. (Boletim técnico, 1).

BERTOL, I.; COGO, N. P.; CASSOL, E. A. Distância entre terraços usando o comprimento crítico da rampa em dois preparos conservacionistas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 417-425, 2000.

DECHEN, S. C. F.; DE-MARIA, I. C.; CASTRO, O. M.; VIEIRA, S. R.; LORENA NETO, B. Conservação do Solo no Estado de São Paulo: 60 anos de pesquisas no Instituto Agronômico. In: WORLD CONGRESS ON CONSERVATION AGRICULTURE, 2., 2003, Foz do Iguaçu. **[Anais...]** Foz do Iguaçu: FEBRAPDP: CAAPAS, 2003. p. 1.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R A . **Mulching**: vertical em sistema plantio direto. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2003. Folder técnico.

GRIEBELER, N. P., PRUSKI, F. F.; TEIXEIRA, A. F.; DA SILVA, D. D. Modelo para o dimensionamento e a locação de sistemas de terraceamento em nível. **Eng. Agríc.**, v. 25, p. 696-704, 2005.

GRIEBELER, N. P.; CARVALHO, D.F.; MATOS, A. T. Estimativa do custo de implantação de sistema de terraceamento, utilizando-se SIG. Estudo de caso: Bacia do Rio Caxangá, PR. **Revista Brasileira de Engenharia**

Agrícola e Ambiental, v. 4, p. 299-303, 2000.

GRIEBELER, N. P.; PRUSKI, F. F.; TEIXEIRA, A. F.; SILVA, D. D. Modelo para o dimensionamento e a locação de sistemas de terraceamento em nível. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 3, p. 696-704, 2005.

LIER, Q. J.van; SPAROVEK, G.; FLANAGAN, D. C.; BLOEM, E. M.; SCHNUG, E. Runoff mapping using WEPP erosion model and GIS tools. **Computers & Geosciences**, v. 31, p.1270-1276, 2005.

LOMBARDI NETO, F.; BELLINAZZI JÚNIOR, R.; GALETI, P. A.; BERTOLINI, D.; LEPSCH, I. F.; OLIVEIRA, J. B. de. Nova abordagem para cálculo de espaçamento entre terraços. In: SIMPÓSIO SOBRE TERRACEAMENTO AGRÍCOLA, Campinas, 1988. **[Anais...]** Campinas: Fundação Cargill, 1989. p. 99-124.

MACHADO, R. E., VETORAZZI, C. A.; XAVIER, A. C. Simulação de cenários alternativos de uso da terra em uma microbacia utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p. 727-733, 2003.

MARQUES, J. Q. de A. **Espaçamento de cordões em contorno em cafezal**. Campinas, Instituto Agronômico, 1951. 1 p.

MARTINS FILHO, M. V.; ANDRADE, H.; DIAS JÚNIOR, M. S.; PEREIRA, V. P. Modelagem do processo de erosão entressulcos para latossolos de Jaboticabal – SP. **Eng. Agríc**, v. 23, n. 1, p. 9-20, 2003.

PRADO, T. B. G.; MORAES, J. F. L.; ADAMI, S. F. Evolução do uso das terras e produção de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Jundiá-Mirim. **Acta Scientiarum**, v. 1, n. 1, p. 1-10, 2006.

RANIERI, S. B. L.; LIER, Q. J.van; SPAROVEK, G.; FLANAGAN, D. C. A computer program for georeferenced application of erosion prediction models (USLE and WEPP). **Computers & Geosciences**, v. 28, n. 5, p. 661-668, 2002.

SPAROVEK, G.; LIER, Q. J.van; RANIERI, S. B. L.; DE MARIA, I. C.; FLANAGAN, D. Application of a database interface (EDI) for erosion prediction in Brazil. **Revista Brasileira de Agrocomputação**, v. 1, n.1, p. 5-12, 2001.

SILVA, F. G. B.; MINOTI, R. T.; ANGELOTTI-NETO, A. REIS, J. A. T.; CRESTANA, S. Determinação da perda de solo em uma sub-bacia hidrográfica rural da região de São Carlos – SP, a partir de modelo hidrosedimentológico. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 7. 2004. São Luiz, MA. **[Anais...]** São Luiz: ABRH, 2004.

TAVARES, A. C F.; MORAES, J. F. L.; ADAMI, S. F.; LOMBARDI NETO, F.; VALERIANO, M. M. Expectativa de degradação dos recursos hídricos em microbacias hidrográficas com auxílio de sistemas de informação geográfica. **Acta Scientiarum**, v. 25, n. 2, p. 417-424, 2003.

VALERIANO, M. M. Mapeamento do comprimento de rampa em microbacias com sistemas de informação geográfica. **Acta Scientiarum**, v. 24, n.5, p. 1541-1551, 2002.

Jean Paolo Gomes Minella

Gustavo Henrique Merten

José Miguel Reichert

Elemar Antonino Cassol

Introdução

Os atuais níveis de crescimento populacional e a consequente necessidade de ampliar a produção de alimentos, fibras e energia, tem promovido uma intensa utilização dos recursos naturais que geram muitas vezes impactos indesejáveis ao meio ambiente. Dentro deste contexto é importante considerar que os recursos naturais devem servir não apenas para suprir as necessidades da sociedade atual, mas também das futuras gerações. Essa condição baseada, em princípios éticos, quando transposta ao nosso cotidiano quer dizer que devemos realizar um esforço para aperfeiçoar nossa capacidade de gerenciar a utilização dos recursos naturais com maior habilidade, de forma a conciliar as nossas necessidades atuais sem comprometer as necessidades futuras. Diferente do que alguns podem imaginar, os interesses de produção e da preservação dos recursos naturais não são conflitivos, já que a preservação do solo e da água são fatores importantes para garantir as necessidades econômicas e sociais de uma nação. Neste contexto, é importante considerar que o estabelecimento de políticas públicas voltadas para a preservação dos recursos naturais são fundamentais para estabilidade de uma sociedade.

Dentre inúmeros fatores relacionados com a degradação dos recursos naturais, a erosão hídrica assume papel de destaque, contribuindo significativamente para a situação atual de degradação dos solos e da água por todo o planeta. A erosão hídrica provoca impactos indesejáveis ao ambiente tanto “no local”, onde essa ocorre, como também “fora do local”, onde os solos foram erodidos. Os

principais problemas referentes aos efeitos fora do local da erosão estão relacionados ao depauperamento da qualidade da água, o assoreamento dos corpos de água e à degradação dos ecossistemas aquáticos. Esses impactos, têm sido considerados nos últimos anos, um assunto de grande importância para a sociedade e têm merecido a atenção da comunidade científica internacional.

Nesse sentido, quando se estuda o processo erosivo, devem ser focalizados não apenas os processos envolvidos nos locais onde esse processo ocorre, mas também os locais onde o material erodido foi transferido. Os estudos do processo erosivo, baseados na escala de bacia, têm possibilitado a compreensão mais adequada desses processos.

Nas últimas décadas, a comunidade científica tem exercido um grande esforço no desenvolvimento de técnicas de monitoramento e modelagem da erosão na escala de bacia hidrográfica (DICKINSON; COLLINS, 1998; RICKSON, 2006). Esse esforço tem contribuído, de forma substancial, para a integração das informações entre as diferentes escalas, permitindo com isso representar adequadamente as diferentes fases do processo erosivo (destacamento, transporte e deposição), bem como os elos entre os diferentes componentes do sistema (fontes, redes de transporte, depósitos, rede fluvial). A análise dos impactos “no local” e “fora do local” da erosão depende fundamentalmente de informações de estudos desde a escala de parcelas, passando pelas encostas até as bacias hidrográficas, envolvendo profissionais de diversas áreas como ciência do solo, geomorfologia, hidrologia, dentre outros.

Mecanismos da erosão hídrica

A erosão do solo é um processo geomórfico natural, que pode ser intensificado quando a ocupação das terras e as práticas de uso e manejo do solo são inadequadas. Segundo Morgan (2005) o processo erosivo consiste de três fases: desagregação, transporte, e quando não existe energia suficiente para o transporte das partículas desagregadas ocorre a deposição. O processo inicia com o impacto das gotas de chuva sobre o solo, sendo que a energia cinética da gota de chuva é transferida para o solo, causando a desagregação das partículas de solo

(desagregação física) e também o transporte das partículas em alguns poucos centímetros pelo salpicamento das gotas levando consigo partículas de solo. A taxa de destacamento é proporcional à energia cinética da chuva, à declividade do terreno e à altura da lâmina de água.

Na etapa seguinte, a erosão é controlada pelo escoamento superficial. A formação e magnitude do escoamento superficial dependem fundamentalmente da infiltração, sendo que esta depende das características da precipitação, relevo, vegetação e características do perfil do solo. A variabilidade espacial dos fatores condicionantes determina que a geração do escoamento superficial em bacias hidrográficas seja governada por uma complexa dinâmica hidrológica (ROSE, 2004). Duas teorias são utilizadas para descrever a variabilidade espacial e temporal da infiltração e, conseqüentemente, do escoamento superficial: mecanismo hortoniano e as áreas de afluência variável. O primeiro ocorre quando a intensidade de precipitação excede a taxa de infiltração (HORTON, 1947), e o segundo quando o solo torna-se saturado, sendo que qualquer precipitação adicional causará escoamento (BEVEN; KIRKBY, 1979).

Para os estudo de erosão é preciso diferenciar o escoamento difuso do escoamento concentrado. O escoamento difuso ocorre através de uma rede de canais anastomosados, que se movimenta por canalículos de forma difusa, em função das características do microrelevo e rugosidade da superfície. Este se forma pelo volume além daquele que ficou armazenado nas microdepressões e não infiltrou. O escoamento concentrado ocorre com o acúmulo do volume de água, proveniente do escoamento difuso, formando sulcos bem definidos e com maior velocidade que o escoamento difuso. A taxa de desagregação, devido ao escoamento, é em função da velocidade do fluxo de água descontada a parcela de energia do escoamento que se encontra comprometida com o transporte de sedimentos (TOY et al., 2002). A capacidade de transporte de sedimentos pelo escoamento é decorrente de algumas variáveis hidráulicas e das características dos sedimentos.

A intensidade do processo erosivo é decorrente da quantidade do material que é desagregado e pela capacidade do escoamento em transportar os sedimentos. Desta maneira a intensidade da erosão pode ser limitada tanto pela quantidade de material desagregado (limitado

pela desagregação) ou pela capacidade de transporte (limitado pelo transporte). É importante considerar que na sua grande maioria os modelos de erosão desenvolvidos, para serem aplicados em áreas agrícolas, são capazes de simular apenas os processos de erosão do tipo entressulco e em sulco. Entretanto cabe lembrar, que outros processos erosivos são importantes também e podem representar uma parcela significativa na quantidade de sedimentos que são produzidos em uma bacia. Entre esses processos, destacam-se a erosão que ocorre nas estradas, as voçorocas, a erosão subsuperficial também denominada erosão em *pipes*, a erosão fluvial, a erosão eólica e os processos de fluxo de massa ou erosão por remoção em massa como deslizamentos e colapso de barrancos em rios (HADLEY et al., 1985). Estes tipos de erosão não ocorrem necessariamente isolados um do outro. Eles são influenciados pelos fatores que compõem a paisagem e também pelas características da chuva. Sendo assim, a modelagem da erosão depende, fundamentalmente, da identificação dos mecanismos erosivos dominantes na escala de interesse. Assim, quando se simula a erosão em uma lavoura, certamente os processos erosivos do tipo sulco e entressulcos são importantes, mas na escala de bacia predominam outros processos importantes que estão relacionados principalmente com a erosão que ocorre no canal fluvial (YAN et al., 2010).

Modelagem matemática dos processos erosivos

Em função do problema crescente de degradação dos recursos naturais, existe uma grande demanda por informações relativas à quantificação da erosão, da produção de sedimentos e dos seus impactos sobre as atividades econômicas e de meio ambiente. O conhecimento das taxas de erosão e o conhecimento do fluxo de sedimentos e dos poluentes em uma bacia são considerados informações importantes para possibilitar uma gestão adequada dos recursos naturais (WALLING, 2005).

Atualmente, a discretização espaço-temporal da erosão e da produção de sedimentos tem contribuído, significativamente para auxiliar no planejamento econômico e ambiental dos recursos naturais (LIM et al., 2005). Além da obtenção da taxa de erosão média de longo período para áreas homogêneas, tem sido possível obter a variação

espaço-temporal dessas taxas (SUMMER; WALLING, 2002; DE ROO; JETTEN, 1999, DE ROO et al., 1996). A tendência é que os modelos matemáticos se tornem ferramentas cada vez mais refinadas para descrever os processos de erosão e sedimentação que ocorrem em uma bacia hidrográfica.

Nos estudos da erosão e sedimentação na escala de bacia é necessário considerar a influência de todos os ambientes (subsistemas) que compõem a paisagem como, por exemplo, os diferentes usos agrícolas, as áreas urbanas, as estradas, as florestas, as áreas úmidas e os rios (Figura 1). Os subsistemas não podem ser avaliados isoladamente porque afetam e são afetados pelos outros subsistemas, formando uma rede complexa de interações (OWENS, 2005). Os resultados deste conjunto de interações, envolvendo diversos ambientes e diferentes processos erosivos, refletirão nas características das descargas líquidas e sólidas na rede de drenagem. Cada ambiente exercerá influência na geração e no movimento do escoamento superficial, bem como na erosão e transporte de sedimentos. Sendo assim, a produção de sedimentos e as características físicas e químicas dos sedimentos nos rios é um reflexo da integração de todos os subsistemas que compõem a paisagem, dentro dos limites de uma bacia hidrográfica.

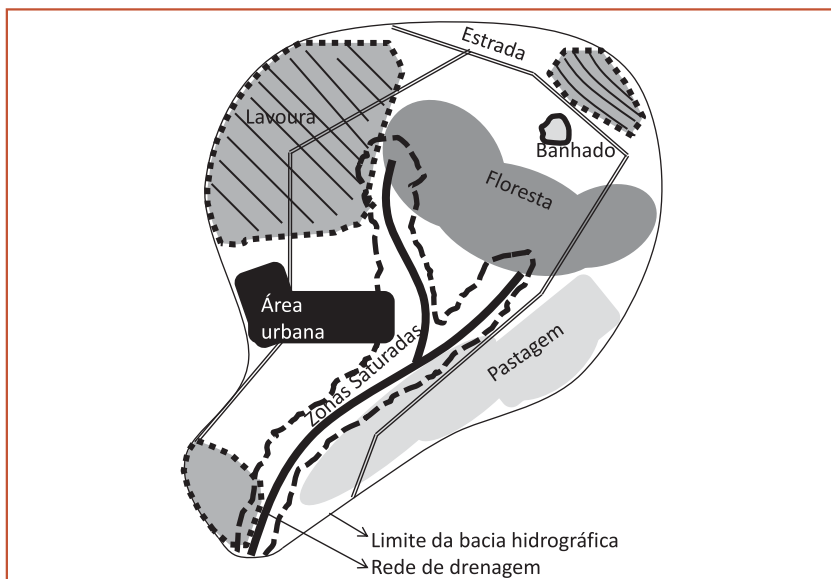


Figura 1. Desenho ilustrando os ambientes (subsistemas) de uma bacia hidrográfica e processos erosivos dominantes.

Na simulação da erosão hídrica na escala de bacia, através de modelos matemáticos, é necessário considerar os três processos fundamentais que são: desagregação, transporte e deposição. Na desagregação as partículas de solo são removidas pelo impacto da gota de chuva e/ou pelo escoamento, sendo dependente das características físicas e químicas do solo, que definem sua susceptibilidade à desagregação. Na desagregação, parte da energia é proveniente da chuva e parte do escoamento. O processo de transporte de sedimentos ocorre através do escoamento concentrado em sulcos e da energia disponível para realização desse trabalho. A deposição dos sedimentos obedece a uma condição que ocorre quando a quantidade de sedimentos, que está sendo transportada, supera a capacidade de transporte. A deposição, no entanto, é um processo complexo de modelar, porém considera-se que essa etapa é de fundamental importância para possibilitar o processo de transferência de sedimentos das suas fontes para os locais de depósito que pode ser a bacia vertente ou a calha fluvial (Figura 2).

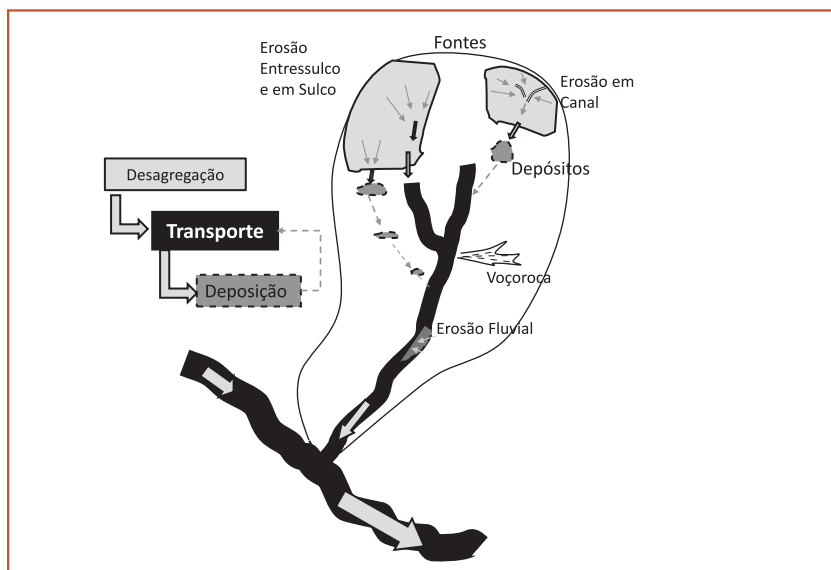


Figura 2. Desenho esquemático do processo de transferência de sedimentos das suas fontes para os locais de depósito.

As fontes de sedimentos mais comuns encontradas em uma bacia hidrográfica são as áreas agrícolas, os locais de construção, as áreas com vegetação alterada, as estradas e a rede de drenagem. O

processo de transporte dos sedimentos erodidos ocorre em caminhos preferenciais do escoamento superficial que são sulcos de erosão, canais, voçorocas e a rede de drenagem. As áreas de depósito ocorrem nas faixas de vegetação, reservatórios, lagos, banhados, locais de relevo côncavo, áreas de escoamento divergente e junto a planície aluvial. Sendo assim, a modelagem da erosão e dos processos hidrossedimentológicos, na escala de bacia deve incluir os processos de desagregação, transporte e deposição nos diferentes ambientes levando-se em consideração os processos que possibilitam a conectividade entre esse ambientes.

Além da erosão entressulco e em sulco, que são de ocorrência comum nas áreas agrícolas, existem outros processos erosivos como a erosão fluvial e a erosão em voçoroca, que são processos erosivos importantes que apresentam uma dinâmica complexa e que, de uma maneira geral, não são contempladas na maioria dos modelos de erosão que são aplicados na escala de bacia. Dependendo das características da bacia (geologia, relevo, área de drenagem) a importância de um ou mais destes tipos de erosão é predominante, e precisa ser identificado pelo modelador. Sendo assim, é importante que o usuário escolha o modelo que represente o processo que, de fato, contribui com a produção de sedimentos na bacia. Entretanto, em geral, os problemas erosivos em bacias envolvem mais um tipo de erosão sendo necessário o acoplamento de diferentes modelos a fim de englobar os fenômenos ocorrentes.

Aplicação dos modelos matemáticos de predição de erosão

O desenvolvimento de modelos de predição de erosão hídrica ou eólica tem como motivação principal o desenvolvimento de uma ferramenta de auxílio voltada para o planejamento das ações de conservação do solo e da água. Mediante o uso de modelos diferentes, práticas de controle da erosão podem ser testadas a partir da simulação de diferentes cenários de uso e manejo do solo e variações climáticas.

Os modelos matemáticos de predição de erosão podem ser utilizados, tanto para o propósito com fins acadêmicos como aplicados. Os propósitos acadêmicos tem haver com a possibilidade de compreender e descrever os mecanismos da erosão. Já com o propósito

aplicado, os modelos são aplicados para quantificar a erosão e identificar áreas mais afetadas por esse processo. A seguir seguem alguns exemplos de utilização acadêmica e aplicada dos modelos de predição de erosão:

Utilização acadêmica:

- Representar os diferentes tipos de erosão e suas interações;
- Analisar os processos de destacamento das partículas da massa de solo, transporte das partículas e deposição dos sedimentos erodidos, em função das características da chuva, do solo, do relevo e cobertura vegetal;
- Analisar os mecanismos de conexão entre os processos erosivos nas vertentes e na rede fluvial;
- Avaliar em que nível de discretização do meio físico é possível representar os processos erosivos e hidrológicos em diferentes escalas e condições.

Utilização aplicada:

- Calcular as taxas de erosão para avaliar as perdas do potencial produtivo dos solos, a degradação dos solos e os impactos econômicos;
- O planejamento integrado de bacias hidrográficas com vistas à preservação dos recursos hídricos e à manutenção do potencial produtivo dos solos;
- Demonstrar previamente os efeitos da alteração do uso e do manejo dos solos sobre o volume de escoamento superficial e a taxa de erosão.

Um dos principais campos de aplicação da modelagem de erosão encontra-se na engenharia de sedimentos. Nesta área os modelos de predição de erosão, aplicados na escala de bacia, são utilizados com o propósito de estimar o aporte de sedimentos, para fins de avaliação da vida útil de reservatórios (CARVALHO et al., 2000).

A estimativa da erosão através de modelos matemáticos, no entanto, se torna difícil a medida que ocorre um aumento de escala onde esses modelos são aplicados. Esta condição ocorre não somente

pela natureza variada das fontes de sedimentos, mas principalmente, pela complexa relação de transferência dos sedimentos da bacia vertente para a calha fluvial. Nestas condições a combinação de um levantamento do meio físico, para indificar os principais processos erosivos que ocorrem na bacia, pode contribuir para a seleção do modelo mais adequado a ser utilizado.

Classificação geral dos modelos de erosão (perda de solo e produção de sedimentos)

Os modelos matemáticos de estimativa de perda de solo e produção de sedimentos diferem em termos de complexidade, dos processos considerados e dados requeridos. A escolha do modelo mais apropriado deve ser baseada no objetivo de uso, nas características do local de estudo e da disponibilidade de dados. Não existe o melhor modelo para todas as aplicações, mas sim aquele mais adequado ao objeto de estudo. As diferenças entre os modelos permitem agrupá-los segundo diferentes critérios: os objetivos, a base conceitual e a escala espacial e temporal.

Os modelos apresentam características distintas, segundo os objetivos para os quais foram desenvolvidos. Os modelos de processos erosivos e hidrossedimentológico estão presentes em diferentes áreas do conhecimento, como por exemplo, na geografia, na engenharia e na agronomia. Sendo que o enfoque e a descrição matemática priorizarão os processos de interesse de cada campo de trabalho como por exemplo:

- Determinação da fragilidade ambiental à erosão hídrica;
- Determinação das taxas médias de perda de solo de longo período em áreas agrícolas;
- Determinação do balanço de sedimentos, diferença entre erosão e deposição na bacia, controlando a produção de sedimentos;
- Análise dos processos de transferência de sedimentos, nutrientes e pesticidas das encostas para os depósitos e rede de drenagem;
- Interpretação das relações entre os processos erosivos, observados nas encostas, com os processos de transporte na calha fluvial;
- Determinação da taxa de emissão de sedimentos (relação entre a perda de solo e a produção de sedimentos);

- Erosão fluvial, transporte e deposição de sedimentos em rios e reservatórios;
- Impacto na qualidade da água, pela presença de sedimentos e contaminantes associados (nutrientes, pesticidas, metais pesados e patógenos).

Considerando a base conceitual dos modelos, outra maneira usual de classificação é segundo os processos erosivos considerados e pelos algoritmos utilizados. Considerando como exemplo os modelos para as áreas agrícolas, os processos de desagregação, transporte e deposição são controlados pela capacidade (energia) da chuva e do escoamento em desagregar e transportar o solo através das vertentes. O processo pode ser modelado pela relação entre desagregação e capacidade de transporte do escoamento. Para estes casos existem três tipos de modelos que utilizam essa relação para a estimativa da perda de solo:

- Limitados pela desagregação - a quantidade de solo erodido é limitada pela capacidade da chuva e do escoamento desagregar o solo, assumindo que o escoamento pode transportar uma infinita quantidade de sedimentos, ou seja, tudo que for desagregado poderá ser transportado para uma determinada posição considerada. Nesses modelos o processo de deposição não é simulado e sim assumido que irá ocorrer onde a declividade do terreno for muito baixa ou onde o escoamento poderá ser canalizado. Este é o caso dos modelos relacionados com a Equação Universal de Perda de Solo - USLE (WISHMEYER; SMITH, 1978). Os resultados destes modelos são, frequentemente, utilizados como uma estimativa da desagregação nos dados de entrada de modelos que simulam a mobilização e deposição na bacia.

- Simulam as condições limitadas pela disposição de sedimentos e pela capacidade de transporte - o modelo assume que o escoamento pode transportar uma quantidade de sedimento controlada pela sua capacidade máxima de transporte de sedimentos. Desta forma, a deposição ocorre quando a carga de sedimentos a ser transportada é maior que a capacidade de transporte. Nestes modelos a capacidade de

transporte não somente condiciona a transferência dos sedimentos que foram mobilizados através da energia da chuva, mas também condiciona o potencial de desagregação pelo escoamento concentrado. A energia para realização deste trabalho resulta da diferença entre a capacidade de transporte e a carga que esta sendo transportada.

Ainda na classificação da base conceitual, os modelos podem ser classificados como empíricos, conceituais e de base física (Tabela 1):

- Modelos empíricos - são baseados em relações estatísticas entre variáveis consideradas importantes. Os parâmetros das equações são obtidos por calibração em parcelas experimentais. Nestas condições de grande controle experimental se estabelece as relações entre os fatores controladores e as variáveis de interesse (escoamento e perda de solo). Estes modelos necessitam pequeno número de variáveis em comparação com os modelos determinísticos, realizando boas estimativas de longo período. Estes modelos são utilizados em situações com limitação de dados, sendo importantes úteis na identificação das áreas críticas de erosão.
- Os modelos conceituais - são baseados num conjunto de fórmulas que representam o sistema de forma simplificada, tendo um conjunto de componentes interligados e incorporando na sua estrutura mecanismos de geração e transferência de sedimentos, cada um requerendo alguma caracterização do seu comportamento dinâmico. Incluem uma descrição geral dos processos na bacia, sem incluir detalhes específicos das interações entre os processos. Permitem inserir dados da variabilidade espacial e temporal mesmo que com pouco detalhamento. Os parâmetros de ajuste do modelo são obtidos com dados medidos.
- Modelos de base física - os resultados são obtidos pela solução de equações físicas que descrevem os processos hidrológicos (infiltração, evapotranspiração e escoamento superficial) e erosivos (desagregação, transporte e deposição de sedimentos). O uso destas equações depende da obtenção ou estimativa dos parâmetros necessários, esta é uma limitação, principalmente, para áreas extensas e heterogêneas onde não existem dados ou com baixo nível de detalhamento.

Tabela 1. Resumo dos principais tipos de modelo segundo sua base de cálculo.

Base conceitual	Exemplos	Descrição
Modelos empíricos	RUSLE	R: erosividade da chuva, K: erodibilidade do solo, LS: declividade e comprimento da vertente, C: fator cobertura e manejo do solo, P: práticas de conservação do solo
	Outros	(empírico/conceitual): SedNet, IHACRES-WQ
Modelos conceituais	AGNPS	Predição do escoamento com o método do SCS. Predição da perda do solo com os fatores da RUSLE. Deposição é baseada na tensão de cisalhamento, velocidade de queda e distribuição granulométrica.
	SWAT	Predição do escoamento com o método do SCS. Predição da perda do solo com os fatores da MUSLE. Deposição é baseada na tensão de cisalhamento, velocidade de queda e distribuição granulométrica.
	Outros:	EMSS, HSPF, IQQM, SWRRB
Modelos com base física	EUROSEM	Escoamento calculado através do balanço hídrico e taxa de infiltração. Desagregação, mobilização e transporte de sedimentos calculados em função da energia cinética da chuva, potência do escoamento, capacidade de transporte, tensão de cisalhamento e velocidade de queda.
	WEPP	Predição do escoamento com o método do SCS (método CN) ou Green-Ampt. Desagregação, mobilização e transporte de sedimentos calculados baseado na declividade, % de vegetação, tensão de cisalhamento, rugosidade, matéria orgânica, massa de raízes.
	Outros:	LISEM, ANSWERS, CREAMS, TOPOG, GUEST

Fonte: Merritt (2003), Vente e Poesen (2005).

Outro critério de classificação dos modelos refere-se à escala espacial e temporal sendo esses classificados como concentrados ou distribuídos. Modelos concentrados referem-se àqueles cuja variabilidade espacial dos processos não é levada em conta ou seja o resultado representa um valor médio para uma área homogênea. Nos modelos distribuídos, os parâmetros, variáveis e resultados são obtidos para toda a área de interesse com discretização espacial. Este tipo de modelo é apropriado para áreas heterogêneas e extensas, permitindo identificar onde os processos erosivos (desagregação, transporte e deposição) estão ocorrendo. Em relação à escala temporal, os modelos de erosão podem gerar resultados médios de longo período ou resultados relativos à ocorrência de eventos de chuva.

A escolha do modelo gera alguma incerteza em função da grande número de opções e diferença entre eles. É importante lembrar que o modelo adequado será aquele que representa explicitamente os processos requeridos. Além disso, é importante verificar a disponibilidade de dados, a representatividade dos processos para o local de interesse e a adequação à resolução espacial e temporal que se deseja modelar. A análise detalhada do fenômeno de interesse e dos

modelos é fundamental para o planejamento da obtenção dos parâmetros, monitoramento e, finalmente, da modelagem. Na Tabela 2 são apresentados alguns modelos de erosão e suas principais características.

Tabela 2. Exemplos de modelos de erosão e suas principais características.

Modelo	Tipo	Escala Espacial	Necessidade de dados de entrada / Tipo de saída
RUSLE	Empírico	Gleba	Entrada: alta / Saída: erosão
SEDNET	Empírico/ Conceitual	Bacia	Entrada: moderada / Saída: sedimento em suspensão, escoamento, erosão canal e fluvial
SWRRB	Conceitual	Bacia	Entrada: alta / Saída: escoamento, sedimento, nutriente, pesticida
SWAT	Empírico/ Físico	Bacia	Entrada: alta / Saída: erosão, sedimento em suspensão, vazão
GUEST	Físico	Parcela	Entrada: alta / Saída: vazão, concentração sedimentos
WEPP	Físico	Rampa/ Bacia	Entrada: alta / Saída: erosão, vazão, concentração sedimentos
LISEM	Físico	Pequena Bacia	Entrada: alta / Saída: erosão, vazão, concentração sedimentos
ANSWERS	Físico	Pequena Bacia	Entrada: alta / Saída: sedimentos, nutrientes

Contribuição das diferentes escalas para a modelagem da erosão

A evolução da modelagem de erosão, na escala de bacia, depende fundamentalmente do entendimento de como se conectam as informações geradas nas diferentes escalas, ou seja, da microparcela à grande bacia (Figura 3). O entendimento desta questão sem dúvida irá auxiliar também na elaboração de medidas mais efetivas de controle da produção de sedimentos, considerando que os sedimentos não são produzidos somente na bacia vertente, conforme já comentado. Com isso é importante considerar que as medidas de conservação de solos utilizadas em uma bacia são importantes, porém, não suficientes para reduzir a produção de sedimentos na mesma bacia. Fatores relacionados com os processos erosivos que ocorrem na calha fluvial também cumprem um papel importante neste processo.

Os resultados na escala de microparcela têm grande aplicação e importância no suporte de parâmetros para os modelos de base física e distribuídos, já que definem com grande precisão os parâmetros necessários para a caracterização específica de processos interferentes como, por exemplo: a) estudos para a determinação da energia cinética

da gota de chuva – erosividade, b) salpico, c) formação de selo superficial, d) avaliação da cobertura do solo, e) influência da estabilidade de agregados, coesão do solo, granulometria.

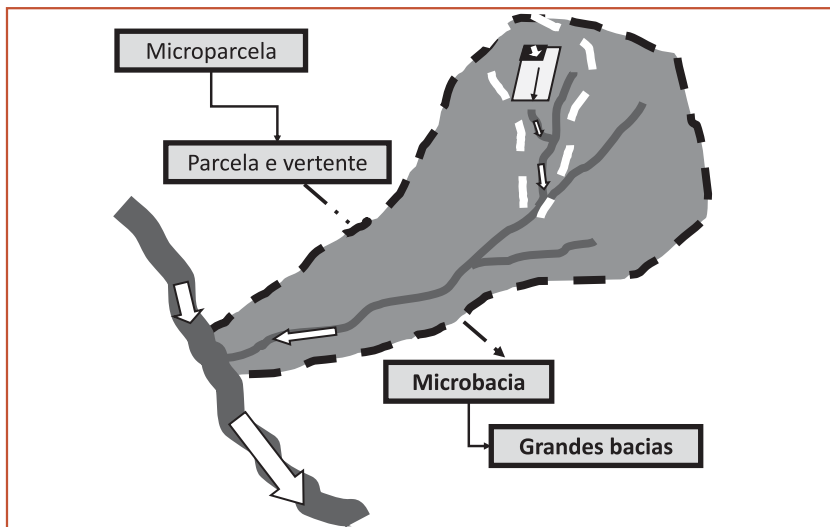


Figura 3. Desenho esquemático da representação da conexão das escalas de monitoramento e modelagem para a representação dos processos erosivos e hidrossedimentológicos.

Na escala de parcela e vertente é possível definir das taxas de erosão para diferentes solos e níveis de cobertura, numa condição mais representativa da realidade e com grande controle experimental. Nessas escalas é possível fazer uma grande discretização das variáveis de solo e vegetação, permitindo quantificar seus efeitos. Existe também a possibilidade de realizar experimentos com chuva simulada e estabelecer variáveis como erodibilidade e importância da erosão em sulco. Outro aspecto muito importante nesta escala é a possibilidade de compreender a dinâmica da infiltração e escoamento superficial em função de manejos diferentes.

Na escala de pequenas bacias é possível avaliar os mecanismos de interação entre os processos erosivos da bacia vertente com a calha fluvial. Condições geomorfológicas associadas à hidrologia afetam fortemente a dinâmica da erosão, e o processo de mobilização, deposição e transporte, bem como transferência de sedimentos para a calha fluvial.

Na escala de grandes bacias são avaliados os impactos regionais

da erosão sobre a degradação dos recursos hídricos, a economia regional e a saúde da população. Os processos relacionados à erosão e à produção de sedimentos tornam-se ainda mais complexos devido à participação de fontes de sedimentos de diferentes naturezas (sulco, entressulco, voçorocas, remoção em massa e erosão fluvial) e também da dinâmica deposicional devido à ocorrência de várzeas, lago e reservatórios, além da redução natural da declividade do canal fluvial.

Considerações finais

A modelagem da erosão do solo e da produção de sedimentos, sem dúvida nenhuma tem se tornado uma ferramenta importante para auxiliar na gestão sustentável dos recursos naturais, principalmente quando aplicada a escala de bacia hidrográfica. Porém, é justamente nesta escala que são encontrados os vazios do conhecimento que limitam o desenvolvimento de modelos mais robustos. Os vazios de conhecimentos devem ser traduzidos como desafios a serem realizados por parte da comunidade científica envolvida neste tema. Dessa forma, sugere-se que os principais desafios da modelagem de erosão e da produção de sedimentos consiste na: a) representação da complexidade natural do ambiente minimizando a quantidade de parâmetros necessários; b) transferência de informação entre diferentes escalas; c) compreensão dos mecanismos de ligação entre os processos nas pendentes e na calha fluvial e a redistribuição de sedimentos na bacia; e d) compreensão dos padrões de infiltração e formação do escoamento superficial na escala de bacia.

Referências bibliográficas

BEVEN, K. J.; KIRBY, M. J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. **Bulletin Hydrologiques**, v. 24, n. 1, p. 43-69, 1979.

CARVALHO, N. O.; FILIZOLA, N. P. F. J.; SANTOS, P. M. C.; WERNECK, J. E. F. **L. Guia de Avaliação de Assoreamento de Reservatórios**. Brasília: ANEEL, 2000. 140 p.

DE ROO, A. P. J.; WESSELING, C.G.; RITSEMA, C. J. LISEM: a single-event physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins. I: theory, input and output. **Hydrological Processes**, v. 10, p. 1107-1117, 1996.

DE ROO, A. P. J.; JETTEN, V. Calibrating and validating the LISEM model for data sets from the Netherlands and South Africa. **Catena**, v. 37, p. 477-493, 1999.

DICKINSON, A.; COLLINS, R. Prediction erosion and sediment yield at catchment scale. In: VRIES, F. W. T. P. et al. (Ed.). **Soil Erosion at Multiple Scales: Principles and Methods for Assessing Causes and Impact**. New York: CAB, 1998.

HADLEY, R. F. L. A. L. R.; ONSTAD, C. A.; WALLING, D. E. **Erosion and Sediment Yield Studies - Technical Document in Hydrology**. Paris: UNESCO, 1985.

HORTON, R. E. Erosion development of streams and their drainage basin: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Bulletin of the Geological Society of America**, v. 56, p. 275-370, 1945.

LIM, K. J.; SAGONG, M.; ENGEL, B. A.; TANG, Z.; CHOI, J.; KIM, K. S. GIS-based sediment assessment tool. **Catena**, v. 64, p. 61-80, 2005.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion & conservation**. Longman: Blackwell, 1995.

OWENS, P. N. Conceptual models and budgets for sediment management at the river scale. **Journal of Soils and Sediments**, v. 5, n. 4, p. 201-212, 2005.

RICKSON, R. J. Management of Sediment Production and Prevention in River Catchments: a Matter of Scale In: OWENS, P. N.; COLLINS, A. J. (Ed.). **Soil Erosion and Redistribution in River Catchments**. Wallingford: CAB International, 2006.

ROSE, C. **An introduction to the environmental physics of soil water and watersheds**. Cambridge, UK: [Cambridge press], 2004. 443 p.

SUMMER, W.; WALLING, D. **Modelling erosion, sediment transport and sediment yield**. Paris: UNESCO, 2002. (Technical Document in Hydrology, 60).

TOY, T. J.; FOSTER, G. R.; RENARD, K. G.. **Soil erosion: processes, prediction, measurement, and control**. New York: John Wiley & Sons, 2002. 337 p.

VENTE, J.; POESEN, J. Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: Scale issues and semi-quantitative models. **Earth-Science Reviews**, v. 71, p. 95–125, 2005.

WALLING, D. E. Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems. **Science of the Total Environment**, v. 344, p. 159-184, 2005.

WISHMEYER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: USDA Agricultural Handbook, 1978.

YAN, B.; TOMER, M. D.; JAMES, D. Historical channel movement and sediment accretion along the South Fork of Iowa River. **Journal Soil and Water Conservation**, v. 65, n. 1, p. 1-8, 2010.

Daniel Vidal Pérez

Mônica Regina Marques Palermo de Aguiar

Introdução

Como resultado mundial da urbanização e da industrialização, inúmeros compostos orgânicos tóxicos têm sido encontrados ao longo de toda a superfície e subsuperfície terrestre. Este fato é resultante de práticas inadequadas de disposição de resíduos químicos, como por exemplo, vazamento acidental, ou não, durante seu manuseio, transporte ou armazenamento (KONG, et al., 1998).

A quantidade de resíduos industriais contaminados com esses poluentes, conhecidos como recalcitrantes (por não serem biodegradáveis) tem aumentado significativamente. Muitos dessas substâncias possuem um alto risco para a saúde humana, e por vezes, até mesmo aos próprios microrganismos que, eventualmente, poderiam vir a fazer a sua biodegradação. Dessa forma, um tratamento adequado para essas áreas alteradas torna-se necessário e de suma importância para a recuperação desses sistemas naturais.

Dessa forma, este capítulo versará sobre a atual situação sobre os valores de referências de solos nacionais para vários elementos e apresentar as tecnologias de remediação de solos contaminados com poluentes orgânicos.

Estado da arte

O que é um solo contaminado?

Se não há o conhecimento de qual é o nível considerado

“natural” de um determinado elemento no solo, como saber se ele foi contaminado?

No Brasil, estudos com o objetivo específico de caracterizar os solos com respeito às concentrações dos vários elementos químicos (micronutrientes, tóxicos ou traço) foram pouco desenvolvidos, sendo que a maioria, no princípio, se concentrou no Estado de São Paulo (VALADARES, 1975; VALADARES; CATANI, 1975; FURLANI et al., 1977; VALADARES; CAMARGO, 1983). Mais recentemente, alguns grupos brasileiros começaram a buscar valores de referência, sinônimo de *background* ou *baseline*, de solos nacionais para vários elementos.

A Tabela 1 aponta alguns dos estudos já concluídos. Pérez et al. (1997) analisaram 30 amostras (horizonte A e B diagnóstico) de 15 perfis de solos brasileiros e para vários elementos (Co, Cr, Cu, Mo, Pb, Zn, Mn, Fe, Cd, Sr, Zr, Ba, Rb, U, Th, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu). Marques (2000), apesar de desenvolver uma tese de cunho pedogenético, também produziu dados inéditos sobre uma série de elementos traço em solos, no caso, de Minas Gerais. Contudo, foi a CETESB (2001), com base em metodologia holandesa, quem definiu valores de referência de qualidade de solo com base em amostragens específicas. A partir de 13 tipos diferentes e representativos de solos de São Paulo, foram coletadas 84 amostras compostas, representando as profundidades de 0-20 e 80-100 cm, e realizadas análises de Al, Sb, As, Ba, Cd, Pb, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg, Mo, Ni, Ag, Se, V, Zn. Fadigas et al. (2002), analisando um conjunto de 256 amostras de solos brasileiros, separadas em sete grupamentos com base em similaridade de outras propriedades dos solos, determinaram valores de referência para Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn. A Mineropar realizou extenso trabalho, no entanto, só avaliou o horizonte B. Além disso, de conhecimento dos autores, existem projetos de determinação de valores de referência em andamento, em Minas Gerais, Rio Grande do Norte e Pernambuco.

Tabela 1. Trabalhos de determinação de elementos químicos em solos brasileiros.

Autor	Nº Amostras	Região	Digestão	Elementos
Pérez et al. (1997)	30	15 Estados	Água regia	31
Marques (2000)	96	GO, DF, MG	WD-XRF	19
CETESB (2001)	84	SP	HNO ₃ (EPA)	18
Ferreira et al. (2001)	± 52	PE, SP, BA	Variado	Cu
Ferreira et al. (2001)	± 250	PE, SP, BA	Variado	Zn
Fadigas (2002)	195	Brasil	Água regia	Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Cd Pb
Campos et al. (2003)	19	11 Estados	HNO ₃ (EPA)	Cd, Cu, Ni, Pb, Zn
Licht (2005)	307	PR	XRF (?)	Varios

A base de dados nacional, como se viu, é pequena e concentrada, para certos elementos. Além disso, as metodologias de coleta, preparo e extração de solos são, normalmente, diferentes e não correlacionáveis. No entanto, há formas de planejar o trabalho de coleta de amostras de forma a se obter funções matemáticas que, por meio de correlação com outras propriedades do solo (*Pedotransfer*), permitam prever os dados em regiões não amostradas. Fadigas et al. (2002), por exemplo, propuseram um modelo para obtenção dos teores “naturais” de Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn em solos a partir dos teores de silte, argila, Mn, Fe e CTC. Assim mesmo, a espacialização dos dados, que já entraria no campo do mapeamento digital (MCBRATNEY et al., 2003), seria muito importante, fato que, usualmente, não é observado na maioria dos trabalhos citados. Isso seria de grande valia para facilitar a validação dos *pedotransfers* e reorientar novas amostragens.

Com respeito aos métodos analíticos, extrações e análises consideradas “Totais”, os mesmos produzem poucas informações úteis, já que os efeitos ecotoxicológicos de um elemento químico, assim como o seu comportamento ambiental (transporte, reatividade, mobilidade e outros), dependem totalmente da sua forma química, e de sua especiação (ALLEN, 1993; TACK; VERLOO, 1995; HANI, 1996; QUEVAUVILLER, 1998; KOT; NAMIESNIK, 2000; ABREU et al. 2001). Métodos considerados “Pseudo-Totais” permitem determinar a influência antropogênica e, por isso, podem ser usados no monitoramento ambiental (ALLOWAY, 1995; WALTER; CUEVAS, 1999; SCANCAR et al., 2000). Contudo, se não for eleita uma só metodologia analítica, voltar-se-á a questão da consolidação do banco de dados, já que a maioria das metodologias não possui capacidade de extração similar (MATTIAZO et al., 2001).

Neste contexto, vale à pena consultar a página da Agência Ambiental Européia (Europa, 2008) para analisar um exemplo recente da evolução internacional de discussões pertinentes à unificação de políticas de proteção do solo e da água, o que passa pela normatização dos protocolos de coleta e análise. No caso brasileiro, o CONAMA (2009) publicou a resolução nº 420 de 28 de dezembro de 2009 que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias

em decorrência de atividades antrópicas. Nela são minimamente definidos os critérios de amostragem, porém, claramente definidos os métodos de extração e determinação de dezenas de elementos químicos considerados tóxicos ou potencialmente tóxicos, no solo e em águas subterrâneas. Além disso, a ABNT disponibilizou, recentemente, os requisitos exigíveis para a execução de sondagem de reconhecimento de solos e rochas para fins de qualidade ambiental - ABNT NBR 15492 - e mantém um grupo especial de "Avaliação da Qualidade do Solo e Água para Levantamento de Passivo Ambiental e Análise de Risco à Saúde Humana"- ABNT/CEE-00:001.68 (ABNT, 2008)

Com respeito aos poluentes orgânicos, há o pré-entendimento que, naturalmente, eles não são de ocorrência na natureza, sendo, por isso, considerados xenobióticos. Desta forma, seria, em tese, desnecessário falar na sua determinação para fins de valores de referência.

Entretanto, existem vários trabalhos que indicam, no mínimo, a possibilidade de ocorrência natural de uma série de hidrocarbonetos, dos quais se destacam o estireno, fenol e pentaclorofenol (BAARS et al., 2001), o reteno e tetrahidrocriseno (BOULOUBASSI; SALIOT, 2003). Budzinski et al. (1997) identificaram a distribuição de uma série de HPAs, em sedimentos do rio Amazonas, derivados de triterpenos de origem vegetal. Gomes e Azevedo (2003) também comentam sobre a existência e determinação de HPAs biogênicos em Campos (RJ). Krauss et al. (2005) indicam a ocorrência de naftaleno, fenantreno e perileno em plantas, termiteiros e solos, do entorno de Manaus (AM), em concentrações elevadas e que dão suporte a hipótese de origem biológica desses HPAs. Por fim, Melo Junior, em projeto na Bacia Potiguar (RN), tem encontrado em amostras de solo, em condições naturais, os seguintes compostos: benzeno (monoaromático), naftaleno (HPA) e benzo(a)pireno (HPA) além de outros menos perigosos.

Vale ressaltar que nem todas as substâncias, anteriormente citadas, fazem parte de listas de controle ambiental. No entanto, em função da evolução dos estudos de toxicologia humana e, notadamente, ecotoxicologia, tais considerações, principalmente em condições tropicais, carentes de maiores estudos a respeito do assunto, deverão ser consideradas.

Remediação

Segundo a CETESB (2008), a remediação consiste na implementação de medidas que resultem no saneamento da área/material contaminado e/ou na contenção e isolamento dos contaminantes. Desta forma, a remediação de solos contaminados pode ser feita por vários processos agrupados basicamente em duas grandes classes: os processos convencionais e os não convencionais (USEPA, 2007).

Os processos convencionais ou tradicionais de tratamento de solo contaminado envolvem tecnologias já estabelecidas e bastante conhecidas, como por exemplo, a incineração e a disposição do solo contaminado em aterros ou em “*containers*” (HIGARASHI, 1999). No entanto, a necessidade de restaurar locais contaminados evitando riscos adicionais ao ambiente, que os métodos convencionais traziam, despertou nas duas últimas décadas, um maior desenvolvimento de tecnologias para remediação, buscando melhorar as relações custo-eficiência e risco-benefício, como por exemplo, a biorremediação e os processos oxidativos (NADIM, et al., 1999; FREIRE et al, 2000; RIVAS, 2006).

Os tratamentos tecnológicos podem ser classificados de muitos modos diferentes. Em termos de locais onde os tratamentos são feitos, podem ser classificados em: tratamentos *in situ* ou *ex situ*.

- Tratamento in situ – a principal vantagem deste tipo de tratamento é que permite o tratamento do solo sem que este seja escavado e transportado; no entanto, este tipo de tratamento geralmente requer longos períodos de tempo, e a uniformidade do tratamento é certamente menor devido a uma variabilidade de características do solo.
- Tratamento ex situ – são tratamentos que geralmente requerem a escavação do solo. Este processo pode aumentar significativamente o custo do tratamento, mas por outro lado diminuem, em muito, o tempo necessário para o processo de tratamento, quando comparado a um processo semelhante se feito o tratamento *in situ*. Entretanto, um ponto muito importante que deve ser considerado no momento de avaliar a melhor técnica de remediação é a avaliação do risco de aumento da contaminação pela escavação do solo contaminado.

Segundo o mecanismo de tratamento, podem ser classificados como biológicos, químicos e processos térmicos.

- Tratamento biológico – Por causa dos perigosos poluentes orgânicos serem na maior parte das vezes tóxicos aos microrganismos, a biorremediação (destruição ou transformação dos poluentes pela ação de microrganismos, como fungos e bactérias, ou pela ação de plantas, neste último caso mais conhecida como fitorremediação) apresenta uma maior limitação em termos de concentração dos poluentes orgânicos. Outros parâmetros que podem colocar em risco a eficiência do tratamento por biorremediação devem ser avaliados na hora da escolha da melhor opção de remediação, tais como: estrutura química – presença de anéis aromáticos, substituintes das moléculas alvo (halogênios e grupo nitro), pH do meio e presença de compostos inibitórios.

- Tratamento térmico – Neste processo, uma fonte de calor é fornecida ao solo contaminado com o objetivo de aumentar a volatilização e conseqüentemente promover a separação dos contaminantes, sua destruição ou imobilização pela queima dos mesmos. Este tipo de tratamento, quando realizado *in situ*, requer um curto período de tempo para a limpeza do local contaminado, no entanto sua desvantagem se dá pelo alto custo frequentemente associado à quantidade de energia e equipamentos requeridos. São exemplos de tratamentos térmicos *in situ*: extração do solo a vapor (TANG, 2004). O tratamento térmico *ex situ* pode alcançar uma boa eficiência quando seus impactos são devidamente controlados. A prática de tratamento térmico *ex situ* mais usada é a incineração (GHISELLI, 2001; TANG, 2004).

- Tratamento químico – São processos que buscam converter quimicamente um contaminante perigoso em um composto inerte ou menos prejudicial ao meio ambiente. Os tratamentos químicos também são conhecidos como processos de oxidação química, que utilizam agentes oxidantes para realizarem a remediação do local contaminado. Como agentes oxidantes mais empregados, destacam-se: ozônio, peróxido de hidrogênio, hipocloritos, permanganato de potássio,

dióxido de cloro e cloro (TANG, 2004).

A natureza dos poluentes, sua concentração e o tipo de meio contaminado são os fatores mais importantes que irão determinar a seleção da tecnologia apropriada para o tratamento específico do tipo de resíduo. A Tabela 2 apresenta uma revisão simplificada sobre as tecnologias de remediação de solos.

Tabela 2. Principais tecnologias de remediação de solos.

Tecnologia	Descrição	Contaminantes
Extração de gás de solo (SVE)	Remove fisicamente compostos orgânicos voláteis da zona insaturada através aplicação de um sistema de vácuo.	CHCs, BTEX
Bioaeração ou <i>Bioventing</i>	Acelera a remoção de compostos orgânicos voláteis através da aeração na zona vadosa. Estimula a biorremediação <i>in situ</i> .	CHCs, BTEX
<i>Air sparging</i> (AIS)	Remove, fisicamente, compostos orgânicos voláteis e semi-voláteis através de processo de aeração do solo na zona saturada. Estimula a biorremediação <i>in situ</i> .	CHCs, BTEX, PHAs, MBTE
<i>Bio Sparging</i>	Acelera a biodegradação por estimular a microfauna nativa através de processos físicos de aeração do solo nas zonas saturadas.	CHCs, BTEX, PHAs, MBTE
Tecnologias Térmicas	Processos térmicos <i>in situ</i> que destroem contaminantes ou possibilitam a aceleração de transferência da fase do contaminante no subsolo.	CHCs, BTEX
Biorremediação Acelerada	Altera, artificialmente, as condições naturais dos solos ou águas subterrâneas para acelerar a degradação por microorganismos.	CHCs, BTEX
Sistema de Recuperação de Fase Livre por “ <i>Skimming</i> ”	Promove a recuperação da fase pura do LNAPL através da aplicação de vácuo. Estimula a biorremediação <i>in situ</i> . Não há extração de águas subterrâneas.	BTEX, fase livre de petróleo.
Incineração	Materiais escavados são incinerados para a extração orgânicos voláteis e semi-voláteis.	PAHs, PCBs, Pesticidas
Fitorremediação	Plantas apropriadas são utilizadas para promover a extração e biodegradação de compostos orgânicos e metais no solo.	BTEX, CHCs, PAHs, Pesticidas e Metais Pesados
Lavagem de solo, Reinjeção e Processos Químicos	A lavagem de solo através de fluidos apropriados promove a estripagem e a biodegradação. Compostos químicos (surfactantes) podem ser usados para acelerar a transferência de fase dos contaminantes.	CHCs, BTEX
Solidificação / Encapsulamento / Vitrificação	São processos que promovem a imobilização de resíduo através de processos químicos e ou térmicos.	CHCs, Metais Pesados e Radionuclídeos

Fonte: (NADIN et al, 1999; TANG, 2004; FTRT, 2008).

Considerações finais

Reconhecida a necessidade de estabelecer valores de referência para os metais traço, sejam eles micronutrientes ou potencialmente tóxicos, é fundamental uniformizar as metodologias de coleta, preparo de amostra e análise de solo, que devem ser estabelecidos com base em um grupo de trabalho nacional. Todavia, devido à extensa área a ser coberta, torna-se evidente que deve ser realizado um trabalho em nível regional, porém, com vistas a compor um banco de dados nacional especializado. Existem alguns esforços estaduais para buscar os valores de referência regionais, porém, a maioria deles esbarra na falta de verbas. Com isso, é imprescindível sensibilizar as autoridades competentes para que os órgãos de fomento de Ciência & Tecnologia estaduais e federais possam criar linhas de pesquisa específicas para subsidiar esse trabalho. Estes dados serão de suma importância para a avaliação prévia do impacto ambiental de áreas contaminadas.

No que concerne às Sociedades Científicas, é necessário o seu maior engajamento na discussão e formulação de Políticas Públicas referentes a assuntos afetos a sua área de atuação. Nesse sentido, urge que a Sociedade Brasileira de Ciência de Solos se faça representar ou, pelo menos, se posicione oficialmente frente às novas Regulamentações e Resoluções nacionais na área de qualidade de solos sob pena de ver todo um esforço nacional de pesquisa desqualificado e superpassado por interesses e tendências políticas desprovidas da base científica necessária.

Referências bibliográficas

ABNT. **Boletim de Normalização**. Disponível em: <http://www.abnt.org.br/imagens/imprensa/Editais_e_afins_Boletim/Bol_072007_Encarte_Boletim_Normalizacao.pdf>. Acesso em: 10 de jun. 2008.

ABREU JUNIOR, C. H.; MURAOKA, T.; OLIVEIRA, F. C. Cátions trocáveis, capacidade de troca de cátions e saturação por bases em solos brasileiros adubados com composto de lixo urbano. **Scientia Agricola**,

v. 58, p. 813-824, 2001.

ALLEN, H. E. The significance of trace metal speciation for water, sediment and soil quality criteria and standards. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 23, p. 45, 1993.

ALLOWAY, B. J. **Heavy metals in soils**. 2. ed. Glasgow, UK: Blackie, 1995. 368 p.

BAARS, A. J.; THEELEN, R. M. C. JANSSEN, P. J. C. M.; HESSE, J. M.; APELDOORN, M. E. van; MEIJERINK, M. C. M.; VERDAM, L.; ZEILMAKER, M. J. **Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk levels**. Bilthoven: RIVM, 2001 297 p.

BOULOUBASSI, J.; SALIOT, A. Dissolved, particulate and sedimentary naturally derived polycyclic aromatic hydrocarbons in a coastal environment: geochemical significance. **Marine Chemistry**, v. 42, n. 2. p. 127-143, 1993.

BUDZINSKI, H.; GARRIGUES, P.; BERNARD, G.; BELLOCQ, J.; HINRICHS, K.; RULLKÖTTER, J. Identification of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from the amazon fan: occurrence and diagenetic evolution. In: FLOOD, R. D.; PIPER, D. J. W.; KLAUS, A.; PETERSON, L. C. (Ed.). **Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results**. [Honolulu: IODP], 1997. p. 555-564, 155 v.

CAMPOS, M. L.; PIERANGELI, M. A. P.; GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J.; CURI, N. Baseline concentration of heavy metals in Brazilian Latosolos. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, v. 34. n. 3, p. 547-557. 2003.

CETESB. **Áreas contaminadas**. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/etapas.asp>. Acesso em 10 de jun. 2008.

CETESB. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas**. São Paulo: Cetesb, 2001. 1. CD-ROM.

CONAMA. **Minuta de resolução conama, que dispõe sobre o estabelecimento de critérios e valores orientadores referentes à presença de substâncias químicas, para a proteção da qualidade do solo e sobre diretrizes e procedimentos para o gerenciamento de áreas contaminadas.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/ctgt/gt.cfm?cod_gt=134>. Acesso em: 27 de jun 2008.

CONAMA. **Resolução 420 de 28 de dezembro de 2009.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em: 02 mar. 2010.

EUROPEAN COMMISSION ENVIRONMENT. **Environment.** Disponível em: <<http://ec.europa.eu/environment>>. Acesso em 27 jun 2008.

FADIGAS, F. de S. **Estimativa das concentrações naturais (pseudo-total) de Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn em solos brasileiros e proposição de valores de referencia utilizando técnicas da estatística multivariada.** Rio de Janeiro: UFRRJ-Instituto de Agronomia, 2002. 116 p.

FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. da; RAIJ, B. van; ABREU, C. A. De (Ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura.** Jaboticabal: CNPq; FAPESP; POTAFOS, 2001. 600 p.

FREIRE, R S.; PELEGRINI, R.; KUBOTA, L. T.; DURÁN, N.; ZAMORA, P. P. Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. **Química Nova**, v. 23, n. 4, p. 504-510, 2000.

FRTR. **Remediation technologies screening matrix and reference guide, version 4.0**. Disponível em: <http://www.frtr.gov/matrix2/top_page.html>. Acesso em 09 de junho de 2008.

FURLANI, P. R.; BATAGLIA, O. C. e VALADARES, J. M. A. S. Cobalto em solos do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**,

v.1, p.65-67.1977.

GHISELLI, G. **Remediação de solos contaminados com pesticidas organoclorados utilizando reagente de Fenton**. 2001. 120 f. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) – Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

GOMES, A. de O.; AZEVEDO, D. de A. Aliphatic and aromatic hydrocarbons in tropical recent sediments of Campos dos Goytacazes, RJ, Brazil. **J. Braz. Chem. Soc.**, v. 14, n. 3, p. 358-368, 2003.

HANI, H. Soil analysis as a tool to predict effects on the environment. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 27, n.3/4, p.289-306, 1996.

HIGARASHI, M. M. **Processos oxidativos avançados aplicados a remediação de solos brasileiros contaminados com pesticidas**. 1999. 97 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

KONG, S. WATTS, R. J.; CHOI, J. Treatment of petroleum-contaminated soils using iron mineral catalyzed hydrogen peroxide. **Chemosphere**, v. 37, n. 8, p. 1473-1482, 1998.

KOT, A.; NAMIESNIK, J. The role of speciation in analytical chemistry. **Trends in Analytical Chemistry**, Amsterdam, v. 19, n. 2/3, p. 69-79, 2000.

KRAUSS, M.; WILCKE, W.; MARTIUS, C.; BANDEIRA, A. G.; GARCIA, M. V. B.; AMELUNG, W. Atmospheric versus biological sources of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in a tropical rain forest environment. **Environmental Pollution**, v. 135, n. 143–154, 2005.

LICHT, O. A. (Coord.). **Levantamento geoquímico multielementar do estado do Paraná: geoquímica de solo Horizonte B: relatório final de projeto**. Curitiba: MINEROPAR, 2005. 2 v.

MARQUES, J. J. G. de S. M. **Trace element distributions in brazilian cerrado soils at the landscape and micrometer scales.** 2000. 172 f. Thesis (Ph.D). Purdue University.

MATTIAZO, M. E.; BERTON, R. S.; CRUZ, M. C. P. da. Disponibilidade de metais pesados potencialmente tóxicos. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. da; RAIJ, B. van; ABREU, C. A. de. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura.** Jaboticabal: POTAFOS, 2001. p.213-234.

McBRATNEY, A. B., MENDONÇA SANTOS, M. L.; MINASNY, B. On digital soil mapping. **Geoderma**, v.117, p.3-52, 2003.

NADIM, F.; HOAG, G. E.; LIU, S; CARLEY, R. J.; ZACK, P. Detection and remediation of soil and aquifer systems contaminated with petroleum products: a review. **Journal of Petroleum Science & Engineering**, v. 26, p. 169-178, 1999.

QUEVAUVILLER, P. Operationally defined extraction procedures for soil and sediment analysis. I. Standardization. **Trends in Analytical Chemistry**, Amsterdam, v. 17, n. 5, p. 289-298, 1998.

PEREZ, D. V.; SALDANHA, M. F. da C.; MENEGUELLI, N. do A; MOREIRA, J.C.; VAITSMAN, D.S. **Geoquímica de alguns solos brasileiros.** Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 14 p. (EMBRAPA-CNPS. Pesquisa em Andamento, 4).

RIVAS, F. J. Polycyclic aromatic hydrocarbons sorbed on soils: a short review of chemical oxidation based treatments. **Journal of Hazardous Materials**, v. 138, p. 234-251, 2006.

SCANCAR, J.; MILACIC, R.; STRAZAR, M.; BURICA, O. Total metal concentrations and partitioning of Cd, Cr, Cu, Fe, Ni and Zn in sewage sludge. **The Science of the Total Environment**, v. 250, p. 9-19, 2000.

TACK, F. M. G.; VERLOO, M. G. Chemical speciation and fractionation in soil and sediment heavy metal analysis: a review. **International Journal of Environmental and Analytical Chemistry**, Reading, v. 59,

p. 225-238, 1995.

TANG, W. Z. **Physicochemical Treatment of Hazardous Wates**. Nova York: CRC Pres LLC, 2004.

USEPA. **Treatment technologies for site cleanup**: annual status report (ASR). 12. ed Washington, D.C.: USEPA. 2007. Disponível em: <http://clu.in.org/download/remed/asr/12/asr12_full_document.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2010

VALADARES, J. M. A.S.; CAMARGO, O. A. de. Manganês em solos do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Campinas, v. 7, n. 2, p.123-130. 1983.

VALADARES, J. M. A. S.; CATANI, R. A. Zinco em solos do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 34, n. 5, p.133-139. 1975.

VALADARES, J. M. A. S. Cobre em solos do Estado de São Paulo. 1: cobre total. **Bragantia**, Campinas, v.34, n.4, p.125-132, 1975.

WALTER, I.; CUEVAS, G. Chemical fractionation of heavy metals in a soil amended with repeated sewage sludge application. **The Science of the Total Environment**, v. 226, p. 113-119, 1999.

Nestor Bragagnolo

O gerenciamento dos recursos naturais, principalmente, do solo e água é tarefa que se impõe a todos que se preocupam com o futuro do nosso Planeta. Mais que uma preocupação, significa assegurar qualidade de vida. Sem cuidados básicos, sem antever os desdobramentos no futuro, corre-se o risco de perpetuar erros.

Dentro deste enfoque, o planejamento do uso, manejo e conservação do solo e da água vem sendo objeto de diferentes metodologias de trabalho, em busca de soluções para seu equacionamento. Este tem muitas vezes como referência unidades políticas como: Estados e/ou Municípios, outras vezes, unidades sociológicas, como comunidades ou ainda unidades geográficas, formadas pela própria natureza que são as microbacias hidrográficas. Porém, consta-se que a microbacia por conhecimento científico e por resultados obtidos através de projetos de recuperação e conservação dos recursos naturais é a unidade de estudo funcional da paisagem, que mais favorece a se ajusta aos objetivos do planejamento ambiental e execução de ações. Por outro lado, quando se trabalha com esta unidade, os resultados são mais rápidos e evidentes, pois há maior visualização dos problemas e participação da comunidade e do município na solução e no equacionamento das questões ambientais.

Este capítulo tem por propósito relatar as principais lições e resultados destas experiências desenvolvidas na região sul do Brasil (São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul) que tiveram o apoio financeiro do Banco Mundial e técnico da FAO.

A implementação destes Projetos permitiu identificar os principais aspectos positivos, aos quais se atribuem parcela do sucesso

alcançado. Como forma de contribuição às novas iniciativas, relaciona-se a seguir um conjunto de pontos considerados estratégicos, tais como definição da microbacia hidrográfica como unidade de trabalho, utilização do diagnóstico e planejamento da microbacia e propriedade, respeito à aptidão do solo, implementação descentralizada e participativa dos projetos, transferência de tecnologias apropriadas, adequação tecnológica às diversas categorias de produtores, uniformização de conceitos, incentivos financeiros, utilização de instrumentos legais e adequada estrutura de assistência técnica pública e privada

Dentro deste contexto, em cada microbacia e propriedade foram realizados levantamentos que apontavam a capacidade de uso de sua terra. Estes projetos tiveram uma proposta singular, introduzindo novos conceitos, com implementação de ações e práticas de uso, manejo e conservação do solo e da água, de forma planejada e integrada em nível de propriedade e de microbacia. Por outro lado, buscou-se a integração de instituições públicas e privadas envolvendo as comunidades em todas as fases dos trabalhos. Além disso, adotou-se um conjunto de práticas passíveis de utilização para cada nível tecnológico de produtor. Este rol de tecnologias disponíveis e recomendadas foram previamente compiladas e disponibilizadas para serem implantadas, de acordo com as condições sócio-econômicas de cada produtor ou de sua comunidade.

Dentro desta lógica, nestes estados, foram implementadas ações por estes projetos em torno de 5.500 microbacias, envolvendo uma área de 14 milhões de ha e 500.000 produtores alcançando estes resultados expressivos relativos a impactos sociais, econômicos e ambientais.

Entre estes podemos destacar: os impactos ambientais representados pela oferta de melhor qualidade de água em 16 mananciais de abastecimento urbano, monitorados no Estado do Paraná, cujo índice de turbidez foi reduzido em 49,3%, baixando o custo do tratamento de água para as populações urbanas em até 72%.

Impactos econômicos foram em Santa Catarina, com o aumento da produtividade nos cultivos de milho em 47%, soja em 83% e cebola em 84% nas microbacias trabalhadas. A adequação das estradas rurais, de um modo integrado às práticas de manejo e conservação do solo e

água nas propriedades, propiciou melhor controle da erosão, bem como reduziu drasticamente as necessidades e custos de manutenção das mesmas em torno de 50% e 80% sobre o que era gasto anteriormente no Estado do Paraná e Santa Catarina, respectivamente.

No caso específico dos impactos sociais pode-se destacar no Paraná o aumento do tamanho médio das casas em 15 m², aumento de refrigeradores em 15,5%, de fogões a gás em 9,7%, além do aumento no número de tratores em 10,2% e no número de implementos agrícolas.

Alcançando e superando seus próprios objetivos estes Projetos figuram hoje entre os melhores apoiados pelo Banco Mundial em todo o Mundo. Desta forma, analisando os resultados obtidos, entende-se que é importante difundir esta experiência como mais uma contribuição àqueles que, por este imenso país, se preocupam em formular políticas e implantar alternativas de uso, manejo e conservação de solo e da água.

Paulo Guilherme Salvador Wadt

Edson Alves de Araújo

Falberni de Souza Costa

Caracterização geológica, solos, vegetação e uso da terra

Na região Sul-Occidental da Amazônia ocorrem várias formações geológicas, no entanto, a Formação Sedimentar Solimões é a mais significativa em termos de superfície ocupada. Esta formação é bastante diversificada e, em sua maior parte, predominam rochas argilosas com concreções carbonáticas e gipsíferas, ocasionalmente com material carbonizado (turfa e linhito), concentrações esparsas de pirita e grande quantidade de fósseis de vertebrados e invertebrados. Subordinadamente ocorrem siltitos, calcáreos sílticos-argilosos, arenitos ferruginosos e conglomerados plomíticos. A natureza do material sedimentar depositado na Formação Solimões implica no desenvolvimento de classes de solos com pouco desenvolvimento genético (BRASIL, 1976, 1977; ACRE, 2006), de grande variabilidade ambiental (AMARAL et al., 2005) e sujeitos a intensos processos erosivos (AMARAL et al, 2010), com influência marcante no ciclo hidrológico e na vegetação natural (NEILL et al., 2006).

A Formação Solimões foi depositada principalmente entre o final do Mioceno e o início do Plioceno (WESTAWAY, 2006). Alguns pesquisadores defendem uma origem fluvial/lacustre para os sedimentos desta Formação (LATRUBESSE et al., 1997; WESTAWAY, 2006) enquanto outros sugerem que houve influência de depósitos de marés, através de transgressões marítimas (RÄSÄNEN et al., 1995; GINGRAS et al. 2002). De qualquer forma, esta Formação está ligada com a orogênese dos Andes e os rios da região percorrem em sua maioria sobre esta Formação. Devido ao soerguimento ainda atuante na

Cordilheira Andina, estes rios transportam grande carga de sedimentos, que são também em grande parte fruto da ação destes rios cavando suas calhas sobre esta Formação (LATRUBESSE et al., 2005). Esta dinâmica de sedimentos nos rios e em suas margens, por sua vez, tem um importante papel na determinação da fisionomia e da estrutura das formações vegetais que ocorrem nesta região (SILVEIRA et al., 2008).

Os solos que ocorrem sobre a Formação Solimões estão cobertos por Floresta Ombrófila Aberta em sua maior extensão. Em estreitas faixas, sobre aluviões holocênicos depositados nos canais e calhas dos principais rios ocorre a Floresta Ombrófila Densa. Outras formações menos expressivas em área também ocorrem, como as formações do Grupo Acre na bacia do alto Juruá, que proporcionam o aparecimento, especialmente da Floresta Ombrófila Densa na região da Serra do Divisor (SILVEIRA et al., 2008).

Ao longo do Quaternário (últimos dois milhões de anos), o clima predominante na Amazônia foi mais seco que atualmente (FISCH; MARENGO; NOBRE, 2010.). Devido a sua posição na bacia amazônica e a provável diminuição de evapotranspiração ao longo da bacia, desde a sua foz no Atlântico até as proximidades dos Andes (devido à diminuição de cobertura florestal), acredita-se que os índices pluviométricos na região tenham sido bem mais baixos.

Este clima seco pretérito relaciona-se com a ocorrência, nesta região, de gipsita e concreções carbonáticas (KRONBERG; BENCHIMOL, 1993) e de fósseis de animais característicos de ambientes abertos e que possuíam dentes adaptados para pastar (RANZI, 2000), sugerindo a existência pretérita de vegetação do tipo savana nessa parte da Amazônia (RANCY, 1993; LUCAS et al., 1993). Desta forma, embora a aridez do Quaternário seja frequentemente contestada, nesta porção mais sul-ocidental da Amazônia, devido tanto a baixa pluviosidade quanto as características geomorfológicas e de tipos de solo, é muito provável que houvesse um predomínio de vegetações abertas tipo savana, durante os períodos glaciais. Vale salientar que mesmo na época atual (Holoceno) em que a pluviosidade é maior e a temperatura também mais quente, os rios desta região têm uma grande variação na sua descarga, entre os períodos mais secos e mais chuvosos (RESENDE; MACHADO, 1988). Isso significa que a maior parte da precipitação que

ocorre na região não contribui para a recarga do lençol freático, ocorrendo rápido escoamento superficial. Este comportamento está associado à baixa precipitação efetiva, devido ao caráter de semi-impedimento de algumas argilas do Acre (TRICART, 1985; RESENDE et al., 2005).

Enquanto na maior parte da Amazônia predominam solos de baixa fertilidade, muito intemperizados e profundos (RODRIGUES, 1996; LIMA, 2001), na Formação Solimões é mais comum a ocorrência de solos férteis, com argilas de alta atividade e teores de cálcio e magnésio em associação com alumínio trocável também elevado como, por exemplo, nas planícies aluviais e nos terraços e baixos planaltos das bacias do Purus, Juruá e do Alto Amazonas, originados de sedimentos andinos (GAMA et al., 1992; LIMA et al., 2006).

Em termos gerais, na planície aluvial, que margeia os rios de águas barrentas, ricas em material suspenso predominam solos jovens e, ou, em processo inicial de formação (LIMA, 2001). Nas áreas de relevo suave ondulado a ondulado (“terra firme”), os solos são formados a partir de sedimentos da Formação Solimões, de menor profundidade e menor grau de intemperismo, que solos de terra firme da parte mais leste da região amazônica (LIMA et al., 2006).

A alta fertilidade destes solos tem sido atribuída à sua mineralogia, onde associados a caulinita, ocorrem outros minerais, como vermiculitas, montmorilonita e ilitas (MOLLER; KITAGAWA, 1982; SILVA, 1999). Nos Gleissolos desta região, a composição mineralógica é mais complexa, podendo ocorrer associações de diversos tipos de minerais (SILVA, 1999).

Embora férteis (elevada reserva de nutrientes para as plantas), estes solos são fortemente ácidos (WADT, 2002). Devido a acidez encontrada nestes solos, as argilas do grupo montmorillonita são instáveis neste ambiente (VOLKOFF et al., 1989). O ambiente ácido favorece o ataque ácido sobre estes minerais, promovendo lentamente sua dissolução. Neste caso, quando da análise de solos dessa natureza e extração com solução de KCl 1M ocorre a liberação de grande quantidades de alumínio, retido por diferentes forças eletrostáticas ou covalentes. Este Al, contudo, não está em equilíbrio com a solução do solo, não apresentando assim, toxicidade às plantas (GAMA; KIEHL, 1999).

Devido ao processo ainda inicial de formação (LIMA et al., 2006), a maioria dos solos da região apresenta sérias limitações de drenagem (ARAÚJO et al., 2005), o que os torna de baixo potencial agrícola, inclusive para determinadas espécies de forrageiras, como *Brachiaria brizantha* cv. marandu (WADT et al., 2005). Da mesma forma, a ocorrência de floresta aberta com predomínio de bambus nesta região, deve estar relacionada às limitações de oxigênio e disponibilidade hídrica, impostas pela associação de solos rasos, com minerais de alta atividade e em relevo movimentado.

Nesta região, a vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica está associada ao relevo movimentado em algumas áreas, às condições de drenagem deficiente, a presença de argilas de alta atividade, e à elevada precipitação, a qual varia de 1.800 (porção sudeste da região) a 2.800 mm ano⁻¹ (porção noroeste da região) (ACRE, 2006). A susceptibilidade à erosão é particularmente preocupante nos solos sem cobertura florestal, imperfeitamente ou mal drenados, onde as perdas de solos são fortes mesmo sobre a cobertura florestal original da Floresta Amazônica.

Em estudo preliminar, conduzido no município de Rio Branco, sobre um Argissolo Vermelho Escuro, em relevo suave ondulado com 6% de declividade, verificou-se em área experimental mantida descoberta (mantida sempre limpa por meio de capinas manuais), sob cultivo com arroz em sistema de manejo convencional, uma perda de solo de 170 Mg ha⁻¹ e de água de 11.680 m³ ha⁻¹ (CORDEIRO et al., 1996). Estas perdas são extremamente altas e comprometem a capacidade produtiva dos solos. Os autores destacam, contudo, que práticas de fácil emprego, como a manutenção da cobertura do solo, podem reduzir as perdas de solo e água em 72% e 42%, respectivamente.

Algumas vezes, em condições específicas, mesmo em sistemas reconhecidamente conservacionistas, como os agroflorestais, as perdas de solo podem ser relevantes. Estudos realizados em um Latossolo Amarelo, em Manaus, demonstram que a erosão no período de formação dos sistemas agroflorestais (SAFs) é intensa e pode representar perdas de solo acima dos limites tolerados. Durante a formação dos SAFs (combinação de seringueira, dendezeiro e guaranazeiro), a manutenção do solo descoberto favoreceu uma maior exposição do solo ao contato direto com as chuvas, em comparação a

formas de manejo onde houve maior proteção do solo através do emprego de leguminosas ou do cultivo de plantas anuais (LEITE; MEDINA, 1985). Isto indica que mesmo os sistemas arbóreos, quando na fase de implantação, são altamente erosivos em determinados tipos de solos e que as práticas adotadas na implantação das lavouras afetam as perdas de solo e água e, por conseguinte, os nutrientes necessários para o desenvolvimento das plantas.

Do ponto de vista do regime hidrológico, por predominar na região solos com grau elevado de restrição à drenagem, a maior parte da precipitação que ocorre na região não contribui para a recarga do lençol freático, ocorrendo rápido escoamento superficial. Isto resulta em variações bruscas nas cotas fluviométricas dos principais rios da região e na escassez de redes de drenagem permanentes.

Principais sistemas de produção agropecuária

A pecuária de corte em regime rotacionado extensivo é a principal atividade econômica no setor primário na região, com capacidade de suporte de aproximadamente $1,0 \text{ UA ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, junto ao sistema de pastejo contínuo que predomina nas pequenas propriedades familiares. O sistema de pastejo rotacionado intensivo vem sendo utilizado de forma crescente nas grandes propriedades, elevando a capacidade de suporte das pastagens consorciadas com gramíneas e leguminosas para até $3,0 \text{ UA ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (WADT et al., 2005).

A exploração pecuária está inserida em todos os tipos de uso da terra na região, sendo presente desde as áreas de reservas extrativistas (na maioria das vezes o único tipo de uso da terra nas áreas convertidas dentro destas reservas, predominantemente, respeitando o limite de 10% para conversão de áreas florestais em áreas de produção agropecuária), como também sendo o uso da terra predominante em áreas de assentamento agroextrativista e áreas de assentamento agrícola. Nas fazendas da região é a principal atividade econômica, sendo na grande maioria das vezes, a única atividade econômica.

A integração lavoura-pecuária ocorre apenas em algumas propriedades agrícolas, sendo uma atividade sem expressão econômica, devido à baixa frequência com que é observada na região. O desenvolvimento de alternativas para o restabelecimento da

capacidade produtiva das pastagens, bem como o uso de sistemas produtivos mais ecológicos torna-se fundamental para a sustentabilidade da atividade pecuária na Região Amazônica. A adoção do Sistema Integração Lavoura-Pecuária (ILP) desponta como uma opção viável na recuperação e renovação de áreas degradadas e como alternativas para maior produção de forragem, sem a necessidade de novos desmatamentos. Além disso, possibilitam melhorias nas características químicas, físicas e biológicas do solo. Outro fator favorável do consórcio é a diversificação da produção na propriedade, aumentando as chances de sucesso na comercialização dos produtos e da permanência do homem no campo. A produção agrícola de lavouras anuais (cereais) também é pouco expressiva nas áreas de assentamento, devido à falta de políticas de fomento agrícola e estrutura precária ou insuficiente para o armazenamento da safra, à exceção de algumas regiões do Sul do Amazonas, onde a logística proporcionada pela economia do Estado de Rondônia torna-se mais presente. Fora das áreas de assentamento, a produção agrícola de grãos ocorre de maneira esparsa e está associada a umas poucas fazendas, em áreas individuais, não superiores a 300 ha.

A pecuária leiteira na região correspondente à Formação Solimões também é pequena, não sendo suficiente para atender nem mesmo a demanda da própria população local, sendo os produtos lácteos produzidos na região Central e Sudeste de Rondônia.

Além da pecuária e da produção de grãos, há na região o cultivo de frutas, como banana, abacaxi, cupuaçu, pupunha para semente, pupunha para palmito e outras, seja em sistemas de produção convencional (monocultivos) ou em sistemas consorciados (normalmente em sistemas agroflorestais). Estes sistemas de produção ocorrem, principalmente em pequenas áreas (em geral, não ultrapassando três hectares por produtor), utilizando desde materiais não melhorados e de baixa produtividade (cupuaçu, por exemplo), como materiais de melhor qualidade e mais produtivos (bananeiras, por exemplo).

A produção de farinha de mandioca, embora com ocorrência em toda a Amazônia, tem destaque na região do Vale do Juruá, extremo oeste do Estado do Acre, sobretudo nos municípios de Cruzeiro do Sul, Mâncio Lima e Rodrigues Alves. Esta farinha alcançou fama regional e

está em fase de indicação geográfica. Parte dessa fama reside na tradição dos agricultores, na maioria familiares, bem como na granulometria arenosa dos solos, utilizados para o cultivo da mandioca. Contudo, devido ao sistema tradicional de cultivo da região com corte e queima de floresta primária ou secundária, associado às condições climáticas (precipitação acima de 2.000 mm e temperatura média do ar de 25° C) e à fertilidade química pobre desses solos, os sistemas de cultivo não são longevos. Alternativas ao sistema tradicional de cultivo estão em estudo e já apresentaram resultados promissores. Costa et al. (2009) avaliaram a produtividade de mandioca de sistemas de cultivo de plantio direto e convencional (uso de grade no preparo do solo) combinados com mucuna, calcário e fósforo contra o sistema tradicional da região em solos com granulometria arenosa e média. No solo arenoso, a produtividade do sistema alternativo (mucuna+calcário+fósforo) com preparo convencional do solo e plantio direto foi 64 e 250%, respectivamente, maior do que no sistema tradicional da região. No solo de granulometria média, os resultados, na mesma ordem, foram 18% superior no preparo convencional e semelhantes com a testemunha no plantio direto.

Fatores limitantes da produtividade agrícola

Os fatores limitantes da produtividade são diferenciados conforme o sistema de produção. Para a pecuária de corte, a estratégia tem sido o desenvolvimento do consórcio de gramíneas com leguminosas, no qual a introdução do amendoim forrageiro (*Arachis pintoï*) constitui-se na principal espécie recomendada, embora, a utilização da puerária (*Pueraria phaseoloides*) seja bastante difundida na região, principalmente, para a recuperação de áreas de pastagens com menor produtividade.

O uso do amendoim forrageiro tem sido recomendado pelo fato desta leguminosa apresentar elevada resistência ao pisoteio e ter hábito de crescimento rasteiro, não competindo com a gramínea para a absorção de luz solar. A limitação da expansão do uso desta leguminosa ocorre devido a seu cultivo ser exclusivamente via propagação vegetativa e, portanto, pesquisas têm sido desenvolvidas no sentido de obterem-se materiais adaptados à região amazônica e que também

sejam produtoras de sementes a custos de exploração viáveis.

Em algumas áreas, principalmente próximas de curtumes, a utilização de lodo de curtume também tem se mostrado bastante promissora. Do ponto de vista econômico, o uso deste tipo de resíduos como fertilizante orgânico representa o reaproveitamento integral de seus nutrientes e a substituição de parte das doses de adubação química para as culturas, com rendimentos equivalentes, ou superiores aos conseguidos com fertilizantes comerciais (WADT et al., 2007). Do ponto de vista químico, sua utilização seria limitada pelas quantidades excessivas de sódio e de cromo. O sódio é decorrente do tratamento das peles com produtos à base desse elemento, entre eles o hidróxido de sódio e o bissulfito de sódio. Com relação à presença de metais pesados com potencial de contaminação do solo, embora suas quantidades geralmente mostrem valores abaixo dos limites críticos (BERTOTTI et al. 2008; TEIXEIRA et al., 2008, 2009; SILVA et al., 2009), as aplicações contínuas devem ser monitoradas.

Além do lodo de curtume outros resíduos locais apresentam potencial para uso na agricultura, como a manipueira (material resultante durante a produção da farinha da mandioca), serragem de madeira, casca de frutos (cupuaçu, por exemplo) e outros lodos, como lodo de esgoto. Apesar do potencial, estes resíduos ainda não são utilizados ou faltam estudos mais detalhados que permitam averiguar seus impactos ambientais e benefícios do ponto de vista da nutrição mineral das plantas.

Finalmente, os fertilizantes minerais mais utilizados são a uréia, cloreto de potássio e o super-tríplo e formulações de “plantio” (4-14-8; 4-30-10); muitas vezes usadas em quantidades e proporções entre os nutrientes não suficientes para atender as demandas das culturas, impossibilitando a obtenção de maior produtividade. O principal entrave para o uso de fertilizantes minerais na região tem sido o elevado custo final para o produtor. Isto se deve ao acréscimo do custo em relação ao frete para o transporte do fertilizante até a região, bem como a predominância de culturas com variedades não responsivas, sendo, a maior parte, de baixo potencial produtivo.

Estratégias para o aumento da produtividade agrícola

Em todos os sistemas de produção, a utilização de adubação ainda é incipiente. Algumas pastagens recebem, eventualmente, adubação com resíduos da indústria curtidora, porém, somente aquelas localizadas a um raio de até 25 km do curtume. A maioria dos sistemas de produção agrícola não recebe adubação, quando muito faz-se a adubação de plantio para culturas anuais exigentes, como nas lavouras cultivadas com materiais de milho híbrido.

Por outro lado, dado o maior rigor no controle dos desmatamentos, impedindo a abertura de novas áreas agrícolas, as áreas já abertas têm sido as únicas disponíveis para a expansão da agricultura. Este fato tem promovido, de forma recorrente por parte do sistema produtivo, a busca de soluções para o aumento da produtividade das áreas já convertidas. Acrescente-se a isto que algumas áreas, com uso agrícola já com cerca de 20 anos, também têm exigido adubações para que a produtividade não se torne antieconômica.

Em face destas demandas, algumas ainda latentes, é que se tem procurado desenvolver tecnologias de manejo mais apropriadas para estes solos, as quais são descritas a seguir.

Correção da acidez do solo

Uma das consequências práticas das diferenças mineralógicas nos solos da Formação Solimões resulta na ocorrência de solos com elevada acidez (baixos valores de pH), aliados aos elevados teores de cálcio e de alumínio trocável (solos ácidos de alta atividade iônica). Entretanto, os elevados teores de alumínio trocável não resultam em efeitos fitotóxicos como os que seriam esperados em outros solos, mesmo para variedades de plantas sensíveis a este elemento químico (GAMA; KIEHL, 1999).

A baixa fitotoxicidade do alumínio trocável pode ser consequência da menor atividade de Al na solução, por causa dos altos teores de cálcio e de magnésio trocáveis. Explica-se este efeito pelos processos semelhantes ao que ocorre com a aplicação do gesso agrícola no solo, onde a toxidez é minimizada sem haver necessariamente a

neutralização do alumínio trocável (GAMA; KIEHL, 1999).

Contudo, outro mecanismo que pode explicar esta baixa fitotoxicidade está relacionado à força de retenção do alumínio interestratificado e do alumínio amorfo junto às superfícies de troca catiônica. Assim, como a força de atração exercida pela superfície adsorvente sobre os íons de alumínio na solução seria superior à força de atração exercida sobre outros tipos de cátions (íons de menor valência), cátions como o cálcio e o magnésio ficariam livres na solução do solo. Modelos de dupla camada iônica preveem que a distribuição dos íons de alumínio ao longo da dupla camada difusa não seja uniforme em solos com argilas do tipo 2:1 e em ambiente ácido, diferente do que ocorre nos solos de baixa CTC ou com predomínio de caulinitas e óxido-hidróxidos de ferro ou alumínio (WADT, 2002).

Wadt (1992) sugere que, com base no modelo da dupla camada iônica, são esperados dois comportamentos distintos para o alumínio extraível por solução salina concentrada (“alumínio trocável”), dependendo deste estar absorvido em uma superfície de elevada eletronegatividade ou de baixa eletronegatividade.

Em solos com predomínio de argilas de baixa atividade, embora haja atração pelo alumínio solúvel, este se distribui em proporções constantes entre a superfície adsorvente e a solução do solo, de forma que qualquer mudança em um destes compartimentos rapidamente é compensada com o restabelecimento do equilíbrio. Assim, o alumínio retirado do sistema pela absorção radicular é rapidamente repostado pelo alumínio adsorvido eletrostaticamente, situação esta em que o alumínio apresenta alta atividade na solução do solo. Em outras palavras, significa dizer que a força de adsorção exercida pela superfície adsorvente não são suficientes para reter o alumínio na superfície do mineral e estes íons ficariam movimentando-se próximos à superfície pela ação combinada da energia térmica e eletrostática, sendo distribuídos na camada difusa de acordo com a Lei de Boltzmann.

Por outro lado, naqueles solos onde a superfície adsorvente possui elevada eletronegatividade, esta atrai com maior força os íons adsorvidos. Nesta situação, cátions de menor raio iônico hidratado e maior valência são adsorvidos, preferencialmente, próximos à superfície. Os cátions assim adsorvidos estão em um equilíbrio muito lento com o restante dos cátions trocáveis e apresentam uma menor

atividade na solução do solo. Outros cátions de maior raio iônico hidratado e menor valência são expulsos para a solução do solo, onde apresentam maior atividade. Estes mecanismos, na prática, diminuem a quantidade de alumínio que pode atingir o sistema radicular das plantas e, portanto, seu efeito fitotóxico, resultando em baixa atividade do alumínio na solução do solo.

Esta distorção, no uso do teor de alumínio trocável como um índice da acidez do solo, é agravada porque o KCl, utilizado como extrator, provoca a dissolução do alumínio amorfo e do alumínio interestratificado, que são formas não trocáveis e, portanto, apresentam um equilíbrio muito tênue com a solução do solo (MARQUES et al., 2002).

Assim, o teor de alumínio trocável em muitos solos de alta atividade iônica da Formação Solimões não representa uma característica negativa quanto à limitação da fertilidade dos solos, sugerindo-se inclusive, que em solos álicos e com argilas de alta atividade, este indicador não seja adotado como limitante da aptidão agrícola destes solos (COUTO et al., 2009). Outra consequência prática imediata é que a estimativa da necessidade de calagem pelo método do alumínio trocável não representa a quantidade adequada de calcário indicada para corrigir a acidez do solo e melhorar a produtividade vegetal (GAMA; KIEHL, 1999). Além disto, análises de fertilidade podem indicar teores de alumínio trocável superior a $10 \text{ cmol}_{(+) } \text{ kg}^{-1}$ solo, em solos com saturação de bases superior a 60% (WADT, 2002).

Acrescente-se que a correção da acidez deste solo a valores próximos à neutralidade pode conduzir a um sério problema nutricional. A presença de quartzo na fração argila destes solos pode promover a fixação do magnésio presente em solução, causando a deficiência deste nutriente (SUMNER et al., 1978).

Dada estas condições, Wadt (2002) deixou de recomendar o uso do alumínio trocável como indicador de acidez destes solos. Embora, à luz dos conhecimentos atuais, não exista um método confiável para a estimativa da necessidade de calagem nos solos ácidos, de alta atividade da Formação Solimões, com base no modelo da dupla camada difusa, o método da saturação de bases passou a ser considerado como aquele mais indicado, desde que os limites mínimos de saturação de bases fossem revistos para valores mais baixos que os

adotados em outras regiões do país. A vantagem deste método é que ele pode ser trabalhado não com ênfase na elevação do valor do pH do solo, como originalmente feito em sua concepção, mas no equilíbrio da relação $Al/(Ca+Mg)$, procurando-se elevar a saturação de bases a valores que possibilitem a saturação de alumínio de no máximo 20%, para espécies com baixa tolerância à acidez do solo (WADT, 2002).

Para muitos solos ácidos de alta atividade de argila da Formação Solimões, a relação entre pH e saturação de bases é fraca ou inexistente. No entanto, em situações em que a saturação de bases for maior que 50%, existem poucas possibilidades de valores de saturação de alumínio superiores a 20% (Wadt, 2002). Isto sugere que se for tomado o valor de saturação de bases (V%) como referência, tem-se uma variável de fácil obtenção para o cálculo da necessidade de calagem, sem grandes alterações na rotina laboratorial e minimizando o risco de elevada saturação de alumínio.

Em razão destas considerações, a necessidade de calagem para as principais culturas agrícolas tem sido estabelecida em função do grau de tolerância de cada espécie vegetal à acidez do solo e do tipo de argilas predominantes, que podem ser estimadas pelo valor da CTC do solo. Preconiza-se que quanto maior for a CTC, maior será a proporção do alumínio retido na camada de *Stern* e menor a atividade deste íon na solução do solo para um mesmo valor de saturação de bases. Baseando nestas premissas, passou-se a recomendar a calagem pelo método da saturação de bases (Tabela 1).

Tabela 1. Valores de saturação de bases (V%) adequados para diferentes culturas, nas condições edáficas do Acre.

Cultura	Latossolos e solos com textura areia na camada superficial	Demais solos com CTC < 10 cmol kg ⁻¹ .	Demais solos com CTC > 10 cmol kg ⁻¹
Abacate	50	40	30
Abacaxi	50	40	35
Açaí	60	50	40
Acerola	70	60	50
Algodão*	60	50	45
Amendoim	60	50	40
Arroz de sequeiro	50	40	40
Arroz irrigado	50	40	30
Banana*	70	60	50
Batata doce*	60	50	40
Batata*	50	45	40
Cacau	50	40	30
Café	60	50	40
Cana-de-açúcar	60	50	40
Cará e inhame*	60	50	40
Citros	70	60	50
Coco	50	40	30
Crotalária juncea	70	60	50
Cupuaçu	50	40	30
Feijão	60	50	40
Girassol	70	60	50
Goiaba	70	60	50
Gramíneas aromáticas	40	35	25
Gramíneas em geral	45	40	30
Guaraná	50	40	30
Leguminosas em geral	50	40	30
Mamão	80	70	50
Mandioca	40	30	20
Manga	60	50	40
Maracujá	70	60	50
Milho	50	45	40
Pimenta-do-reino	70	60	50
Pimenta longa	50	40	30
Pupunha	50	40	30
Seringueira*	45	35	25
Soja	50	45	40

Legenda: *Culturas exigentes em magnésio. Se a relação Ca/Mg no solo for maior que 3, usar calcário dolomítico.

Recomendação de adubação para as culturas

Na Amazônia, o Estado do Acre foi o primeiro a possuir um sistema de recomendação de adubação considerando as propriedades dos solos da Formação Solimões, e onde recomendações de adubação foram agrupadas por tipo de cultura, sendo adaptadas da literatura tabelas de adubação para sistema de produção de maior potencial agrícola e destinadas ao cultivo comercial (WADT, 2005).

Na adaptação dos critérios de interpretação da disponibilidade

de nutrientes no solo para a região, foram consideradas de duas a três classes de disponibilidade dos nutrientes, uma vez que a solução adotada foi utilizar níveis de classe de disponibilidade de nutrientes de maior amplitude, reduzindo-se, conseqüentemente, o número de classes de interpretação. Esta limitação foi necessária dada à ausência de ensaios de calibração de adubação para a região. Foram definidas classes de disponibilidade no solo para fósforo (P), potássio (K) e os micronutrientes boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), baseando em recomendações adotadas em outros estados do Brasil e fazendo-se adaptações conforme o nível de conhecimento acumulado localmente (WADT; CRAVO, 2005).

Adicionalmente, novos conceitos relacionados ao estado atual de desenvolvimento da agricultura na região foram incorporados. Como exemplo, a definição de classes de disponibilidade para nitrogênio em função do grau de utilização antrópica do solo, a qual foi possível somente pela apropriação da experiência local, onde os produtores relatam resposta à adubação nitrogenada somente naquelas áreas com maior tempo de uso da terra. Desta forma, a demanda de adubação nitrogenada depende de duas variáveis principais: reservas de nitrogênio no solo e demanda pela planta. Para cultivos de alta produtividade, e principalmente para aqueles de ciclo curto, como por exemplo, os cultivos de cereais, a demanda por nitrogênio dá-se em períodos curtos e em taxas elevadas, de forma que a mineralização no nitrogênio do solo, mesmo naqueles com alto teor de matéria orgânica e baixa relação C/N, espera-se não ser suficiente para atender às exigências da cultura. Nesse caso, a adubação complementar com nitrogênio em cobertura é fundamental para garantir o potencial produtivo das culturas.

Por outro lado, o conhecimento empírico é coerente ao afirmar que em áreas recém-desmatadas a disponibilidade de nitrogênio tende a ser suficiente para atender às quantidades exigidas pela vegetação. Isso significa que nessas áreas, mesmo sem a adubação nitrogenada, as lavouras poderão apresentar um crescimento vegetativo razoavelmente bom, sem que, contudo, esse crescimento reflita-se em boas produtividades, já que haverá fome oculta de nitrogênio e, assim, deficiência na formação de proteínas e outros compostos nitrogenados. Contudo, a constatação importante é que o nitrogênio contido no solo

pode ser suficiente para formação inicial da cultura.

Assim, a disponibilidade de nitrogênio no solo afeta, nestes sistemas, principalmente a adubação de plantio, enquanto a demanda da planta, segundo seus patamares de produtividade, passa a ser determinada pela adubação de cobertura. Na prática, significa que se pode reduzir as quantidades de nitrogênio recomendadas na adubação de plantio, em áreas recém-desmatadas, e essa redução poderá ainda ser maior se o solo apresentar elevados valores para a capacidade de troca catiônica (CTC), uma vez que a maior CTC auxiliará na retenção no complexo sortivo das formas amoniacais do nitrogênio recém-mineralizado, após o processo de desmatamento, permitindo sua liberação gradual nos primeiros anos de exploração agrícola (WADT; CRAVO, 2005).

Para o enxofre não foi elaborada uma tabela de interpretação, embora, em princípio, seja possível adotar o mesmo critério utilizado para o nitrogênio. Quanto ao fósforo, as classes de disponibilidade foram definidas em função da textura do solo estimada pelo teor de argila ou valor do P-remanescente. Os valores utilizados para essa primeira aproximação basearam-se em pesquisa realizada com a adsorção de fósforo em amostras de solos da região leste do Estado (SILVA, 1999). Para outros nutrientes esse critério não foi utilizado, embora possa vir a ser aplicado nas futuras aproximações, se houver informações disponíveis para as condições do solo do Estado do Acre.

Por causa da ausência de informações que auxiliassem o refinamento das interpretações para cada nutriente, decidiu-se adotar um único critério, independentemente do sistema de produção ou espécie vegetal. Assim, para todos os nutrientes foram determinadas no máximo três classes de disponibilidade. Provavelmente, nas futuras aproximações será possível definir melhor essas classes se forem realizados ensaios de calibração. Os demais nutrientes foram tratados da forma convencional, fazendo-se somente os ajustes com base nas premissas já discutidas. As tabelas de interpretação do teor de nutrientes no solo estão disponíveis em Wadt e Cravo (2005).

Por sua vez, para se desenvolver as tabelas de recomendação de adubação, também seriam necessárias informações obtidas por meio de experimentação e ensaios regionais, utilizadas para equacionar a recomendação de adubação e correção do solo, além de outras

informações como composição química, produtividade das lavouras e exportação de nutrientes. Contudo, para as condições edafoclimáticas do Estado do Acre, não existem até o momento informações desta natureza. Portanto, o sistema de recomendação de adubação desenvolvido foi adaptado de resultados obtidos de outras regiões.

Ressalve-se que, embora sabendo que este procedimento não seja o ideal, as tabelas foram desenvolvidas a partir de análises individuais de cada cultura, na tentativa de adotar procedimentos técnicos visando tornar as recomendações as mais confiáveis possíveis.

Foram ainda introduzidos novos procedimentos, sendo o principal a integração entre a diagnose foliar e a análise de solos. Isto foi feito para culturas de maior valor agregado ou com maior potencial para seu desenvolvimento em grande escala; enquanto que para outros grupos de cultura as recomendações de adubação foram realizadas sem considerar a diagnose foliar.

Nesse sentido, o Estado do Acre está sendo o primeiro estado brasileiro a possuir tabelas de recomendação de adubação integrando a análise de solos e a diagnose foliar. Muito embora, o método empregado já tenha sido recomendado pela Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (RIBEIRO et al., 1999).

A introdução da diagnose foliar no processo de recomendação de adubação vem antecipar uma demanda já verificada nos estados com maior tradição agrícola.

Entre os métodos disponíveis, optou-se pelo Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS), visto sua grande aceitação no meio produtivo, existindo inclusive disponibilidade de vários programas de computação capazes de organizar os dados de monitoramento nutricional e gerar as normas e os índices DRIS, necessários para a utilização dessa ferramenta. Para a interpretação dos índices DRIS foi adotado o método do Potencial de Resposta à Adubação, o qual classifica o estado nutricional das plantas em cinco categorias distintas, em relação a cada nutriente que tenha sido avaliado no processo de diagnose (Tabela 2).

Portanto, no Estado do Acre, a recomendação de nutrientes para algumas culturas está sendo feita em função da produtividade esperada e da disponibilidade do nutriente no solo, como também em função do estado nutricional das plantas.

Nos casos em que não há informação disponível sobre o estado nutricional da planta, as mesmas tabelas poderão ser utilizadas, adotando-se o potencial de resposta nulo como referência na definição da necessidade de adubos. Como exemplo, das tabelas de recomendação de adubação utilizadas, tem-se a tabela de recomendação para adubação fosfatada de cobertura na cultura do feijoeiro (Tabela 3). No exemplo, a quantidade do nutriente (P_2O_5) a ser aplicada varia em função da disponibilidade de fósforo no solo (baixa, média ou alta), da produtividade da cultura e do potencial de resposta à adubação.

Tabela 2. Significado do potencial de resposta à adubação em relação à interpretação dos valores dos índices DRIS obtidos da diagnose foliar de plantas.

Potencial de resposta à adubação	Significado
Muito alto	A planta apresenta alta probabilidade de aumentar a produtividade se for aumentada a dose do nutriente analisado na adubação. O nutriente avaliado é altamente insuficiente.
Alto	A planta apresenta média probabilidade de aumentar a produtividade se for aumentada a dose do nutriente analisado na adubação. O nutriente avaliado pode estar insuficiente.
Nulo	O nutriente avaliado está equilibrado e qualquer aumento na dosagem apresenta probabilidade nula de proporcionar aumentos da produtividade.
Baixo	A planta apresenta média probabilidade de diminuir a produtividade se for aumentada a dose do nutriente analisado na adubação. O nutriente avaliado pode estar excessivo.
Muito baixo	A planta apresenta alta probabilidade de diminuir a produtividade se for aumentada a dose do nutriente analisado na adubação. O nutriente avaliado é altamente excessivo.

Tabela 3. Doses recomendadas para a adubação fosfatada de cobertura na cultura do cafeeiro.

Adubação de fósforo em cobertura - P₂O₅ (kg ha⁻¹ ano⁻¹)				
Potencial de resposta ao fósforo	Produtividade kg ha⁻¹	Disponibilidade de P no solo		
		Baixa	Média	Alta
Muito alto	< 1.200	40	30	20
	1.200 a 1.800	50	40	30
	1.800 a 2.400	60	50	40
	2.400 a 3.000	70	60	50
	3.000 a 3.600	80	70	60
	3.600 a 4.800	90	80	70
Alto	> 4.800	100	90	80
	< 1.200	30	20	10
	1.200 a 1.800	40	30	20
	1.800 a 2.400	50	40	30
	2.400 a 3.000	60	50	40
	3.000 a 3.600	70	60	50
Nulo	3.600 a 4.800	80	70	60
	> 4.800	90	80	70
	< 1.200	20	10	0
	1.200 a 1.800	30	20	10
	1.800 a 2.400	40	30	20
	2.400 a 3.000	50	40	30
Baixo	3.000 a 3.600	60	50	40
	3.600 a 4.800	70	60	50
	> 4.800	80	70	60
	< 1.200	10	0	0
	1.200 a 1.800	20	10	0
	1.800 a 2.400	30	20	10
Muito baixo	2.400 a 3.000	40	30	20
	3.000 a 3.600	50	40	30
	3.600 a 4.800	60	50	40
	> 4.800	70	60	50
	< 1.200	0	0	0
	1.200 a 1.800	10	0	0
	1.800 a 2.400	20	10	0
	2.400 a 3.000	30	20	10
	3.000 a 3.600	40	30	20
	3.600 a 4.800	50	40	30
	> 4.800	60	50	40

Fontes alternativas de nutrientes

Estudos realizados no Estado do Acre reforçam as expectativas para o uso de resíduos locais como fonte alternativa para os fertilizantes minerais, principalmente, aqueles trabalhos com o uso de lodo de curtume.

Resíduos do tipo de lodos de curtume, desde que utilizados

dentro de doses convencionais, para o fornecimento de nutrientes às plantas têm-se mostrado promissores na região. Souza et al. (2007b) observaram que a aplicação de 300 kg de N orgânico, tendo como fonte dois lodos de curtume (caleiro e decantador primário), resultou em uma acumulação de N em plantas de milho, cultivadas em vaso, equivalente à aplicação de 100 kg de N na forma de sulfato de amônio. A aplicação de maiores doses de N orgânico na forma de lodo apresentou menores acumulações totais de N nas plantas, provavelmente, em função de problemas relacionados à salinização (SILVA et al., 2007). Doses de N orgânico equivalentes a 600 kg N ha⁻¹ foram suficientes para causar problemas devido à elevada salinidade associada a estas doses, reduzindo drasticamente o desenvolvimento das plantas, devendo ser evitadas aplicações nesta magnitude, tanto para o lodo de caleiro como para o lodo de decantador primário (SOUZA et al., 2007a).

Deve-se ainda considerar o efeito do lodo sobre a mineralização do nitrogênio do solo. Ao avaliar o efeito de doses de lodo suficientes para fornecer de 50 a 600 kg de N orgânico ha⁻¹, aplicadas a uma profundidade de 0 a 5 cm em amostras de um Argissolo Vermelho Amarelo, em vasos, Bertotti et al. (2007) verificaram que as maiores doses de lodo aplicadas aumentaram o pH do solo na camada de 0-10 cm e de 10-20 cm, havendo também aumento do teor de Ca trocável na camada superior e de Mg na camada inferior, além de redução da acidez potencial na camada superior e inferior, neste caso, somente para o tratamento com a maior dose de N orgânico.

Dada à característica alcalina do lodo de curtume, seu efeito em aumentar o pH e diminuir a acidez potencial do solo deve ser considerado como esperado. Mesmo o aumento do teor de Ca trocável na camada superior pode ser explicado pela conjunção do efeito alcalino com os altos teores de Ca encontrados no lodo, ficando este efeito restrito à camada de aplicação pela baixa mobilidade do cálcio. Por outro lado, o aumento do teor de Mg trocável em profundidade indica o potencial deste resíduo em intensificar as perdas deste nutriente por lixiviação, o que em longo prazo poderia resultar em desequilíbrios da relação Ca/Mg no complexo de troca do solo na zona radicular.

A utilização do lodo de curtume tem-se mostrado como uma excelente tecnologia para a recuperação de áreas degradadas pelo uso

agrícola intensivo. No Estado do Acre, em área tratada com lodo de curtume, a produtividade média do milho sem adubação de cobertura foi de 3.370 kg ha⁻¹ (SOUZA et al., 2007b), superior à média regional que é de 1.495 kg ha⁻¹. Neste experimento, onde foram testados seis diferentes híbridos de milho (cinco híbridos Pioneer e um Bandeirantes), os híbridos Bandeirantes e Pioneer 30F33 apresentaram as menores produtividades (2.325 e 2.855 kg ha⁻¹, respectivamente). Já os híbridos Pioneer P3041 e Pioneer 30K75 apresentaram, na ausência de adubação de N em cobertura, as maiores produtividades (4.382 e 3.986 kg ha⁻¹, respectivamente).

Estes resultados são bastante relevantes, indicando que apenas a utilização de materiais genéticos, mais produtivos em áreas recuperadas com a adição de lodo de curtume, pode representar um ganho de produtividade de até 2.887 kg ha⁻¹ em relação à média regional ou de 2.057 kg ha⁻¹, em relação ao material genético de menor potencial produtivo (SOUZA et al., 2007a).

Neste mesmo estudo, a aplicação de apenas 40 kg N ha⁻¹ resultou em melhoria da produtividade da cultura. Com exceção do híbrido Pioneer P3041, cujo ganho de produtividade foi de apenas 10%, os demais materiais testados apresentaram um aumento de produtividade que variou de 37% para o Pioneer 30K75 a até 57% para o Pioneer 30F33 (SOUZA et al., 2007b). Já com relação a aplicação de 80 kg de N ha⁻¹, em geral o ganho de produtividade foi inferior a 20% (em comparação com a aplicação de 40 kg N ha⁻¹) independente da fonte de N utilizada (Pioneer 30F33, Pioneer 30F80, Pioneer 30K75 e Pioneer P3041). Entretanto, foi superior a 35% para os híbridos Bandeirantes e Pioneer 30F90 quando foi utilizado como fonte de nitrogênio o sulfato de amônio, em comparação com a uréia.

Segundo Souza et al. (2007a), a combinação das tecnologias simples, como a utilização de lodo de curtume nas doses de 40 m³ ha⁻¹ (teor de umidade em torno de 95%), aliada à adubação nitrogenada com uréia na dose de 80 kg N ha⁻¹, e a utilização de sementes de híbridos com maior potencial produtivo, mesmo mantendo-se todas as demais condições do sistema de produção atual, resulta em produtividades de milho entre 5.300 a 5.700 kg ha⁻¹, ou seja, mais de três vezes superiores à média regional.

A maior produtividade em área tratada com lodo de curtume

nos solos da região já foi observada em outro ensaio experimental por Wadt et al. (2007b), mesmo sem haver alterações significativas na fertilidade do solo (WADT et al., 2007a). Segundo Wadt et al. (2007b), apenas a utilização do lodo proporcionou aumento de 50% da produtividade das culturas, o que é do ponto de vista econômico muito significativo, se considerar que este produto é oferecido gratuitamente. Por outro lado, Nóbrega e Wadt (2007) não observaram efeito do lodo de curtume sobre características fitotécnicas de plantas de milho.

O potencial do lodo de curtume observado no Estado do Acre já havia sido também constatado em outras situações no Brasil. Costa et al. (2000) verificaram maiores rendimentos de matéria seca da parte aérea em plantas de soja, em tratamentos que receberam NPK + calcário e lodo com cromo (250 kg ha^{-1}). Ainda, Ferreira et al. (2003) observaram que o tratamento que recebeu lodo de curtume proporcionou incrementos de 22% no rendimento de grãos de milho quando comparados com o tratamento NPK+ calcário.

Estes resultados indicam o potencial do uso do lodo de curtume para a recuperação de áreas degradadas e para a fertilização de culturas agrícolas. Entretanto, ainda são necessários estudos para determinar as quantidades adequadas a serem aplicadas em função do tipo de solo e de suas propriedades químicas.

Considerações finais e propostas para avanço no conhecimento ou de ação

A Amazônia brasileira possui atualmente cerca de 25 milhões de habitantes, com necessidades de trabalho, renda e alimentação. Por outro lado, somente na região de influência da capital Rio Branco, Estado do Acre, em um raio de aproximadamente 1000 km, a população total é de cerca de 32 milhões de habitantes, incluindo as populações residentes no altiplano andino e no litoral do Pacífico.

Estas populações desenvolvem suas atividades sobre tipos de solos que apresentam muitas propriedades distintas de todas as demais regiões do País, sendo em alguns casos, ímpares em todo o mundo. Portanto, pode-se considerar ser esta uma das regiões com a maior demanda de pesquisa e novas tecnologias, que sejam capazes de orientar na utilização dos recursos edáficos e hídricos da região, sem

causar problemas ambientais ou degradação ambiental. Ou causá-las com menor grau possível.

O uso e manejo adequado do solo é um ponto central desta questão, já que seu uso de forma sustentável permite não só a manutenção dos serviços ambientais relacionados ao ciclo hidrológico, mas também, propicia condições para que as áreas já convertidas possam manter a sua capacidade produtiva, diminuindo a demanda por novas áreas de floresta.

Neste sentido, mais pesquisas são necessárias para promover a utilização de outros tipos de resíduos locais e, principalmente, faz-se necessário o aprimoramento das recomendações de adubação e calagem, visando melhorar sua viabilidade econômica para a produção de lavouras.

Referências bibliográficas

ACRE (Estado). **Programa Estadual de Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre. Zoneamento Ecológico-Econômico do Acre Fase II: documento Síntese – Escala 1:250.000**. Rio Branco: SEMA, 2006. 356 p.

AMARAL, E. F.; LANI, J. L.; BARDALES, N. G. **Vulnerabilidade a ação antrópica no Acre com Ênfase nos processos de gênese e morfogênese do solo**. Rio Branco: SEMA, 2010. 14 p. (No prelo).

ARAÚJO; E. A. de; AMARAL, E. F.; WADT, P. G.; LANI, J. L. Aspectos gerais dos solos do Acre com ênfase ao manejo sustentável. In: WADT, P. G.. **Manejo do Solo e Recomendação de Adubação para o Estado do Acre**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2005, p.27-62

BERTOTTI, F.; PINTO, C. E. D. L.; TERAN, J. J.; WADT, P. G. S.; PEREZ, D. V.; TEIXEIRA, S. T. Alterações em componentes da acidez do solo em resposta a aplicação de lodo de curtume, em vasos. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA PIBIC-UFAC. 16., 2007. Rio Branco, AC. **[Anais...]** Rio Branco: UFAC. 2007. 2 p. 1. CD-ROM.

BERTOTTI, F. ; TEIXEIRA, S. T. ; WADT, P. G. S. Caracterização química do

lodo de curtume gerado no processo de curtimento em web-blue. In: FERTBIO. **Desafios para o uso do solo com eficiência e qualidade ambiental**: anais. 2008, Londrina. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2008.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto RADAMBRASIL. Folha SC. 19 Rio Branco; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: DNPM, 1976. 458 p. (Levantamento de Recursos Naturais, 12).

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto Radambrasil. Folha SC. 18 Javari / Contamana; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: DNPM, 1977. 420 p. (Levantamento de Recursos Naturais, 13).

CORDEIRO, D. G.; DEDECEK, R.; MOURÃO, P. L.; SILVEIRA, A. M. P. **Determinação das perdas de solo e água em solo podzólico vermelho escuro sob diferentes condições de manejo na região de Rio Branco – Acre**. Rio Branco: Centro de Pesquisa Agroflorestral do Acre, 1996. (Pesquisa em Andamento, 90).

COSTA, C. N.; CASTILHOS, D. D.; KONRAD, E. E.; RODRIGUES, C. G.; PASSIANOTO, C.C. Efeito residual da adição de lodos de curtume sobre o rendimento de matéria seca e absorção de nutrientes em soja. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 3., 2000, Santa Maria, RS. **Resumos...** Santa Maria: SBCS, 2000.1 CD

COSTA, F. S.; BAYER, C.; FILHO, M. D. C.; MAGALHÃES, I. B.; SANTIAGO, A. C. C.; SILVA, E. P. Efeito de sistemas de manejo do solo na produtividade de mandioca no Juruá – Acre. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2009. Fortaleza, CE. **[Anais...]**, Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009.

COUTO, W. H. ; ANJOS, L. H. C. ; LEMOS, C. O. ; DELARMELINDA, E. A. ; WADT, P. G. S. . Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras em Solos

Sedimentares Associados a Argilas de Alta Atividade da Amazônia Sul-Occidental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2009. Fortaleza, CE. **[Anais...]**, Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. **Clima da Amazônia**. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/fish.html>>. Acesso em: 20 mar. 2010.

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; TEDESCO, M. J.; BISSAN, C. A. Alterações de atributos químicos e biológicos de solo e rendimentos de milho e soja pela utilização de resíduos de curtume ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 755-763, 2003.

GAMA, J. F. N. F.; KIEHL, J. C. Influência do alumínio de um podzólico vermelho-amarelo do Acre sobre o crescimento das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 475-482, 1999.

GAMA, J. R. N. F.; KUSUBA, T.; AMANO, Y. Influência de material vulcânico em alguns solos do Estado do Acre. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 16, p. 103-106, 1992.

GINGRAS, M. K.; RÄSÄNEN, M. E.; PEMBERTON, S. G.; ROMERO, L. P. Ichnology and sedimentology reveal depositional characteristics of baymargin parasequences in the Miocene Amazonian foreland basin. **Journal of Sedimentary Research**, v. 72, n. 6, p. 871-883, 2002.

LATRUBESSE, E., BOCQUENTIN, J., SANTOS, J. C. R., RAMONELL. Paleoenvironmental model for the Late Cenozoic of southwestern Amazonia: paleontology and geology. **Acta Amazonica**, v. 27, n. 2, p. 103-118, 1997.

LATRUBESSE, E.M.; STEVAUX, J. C.; SINHA, R. Grandes sistemas fluviais tropicais: uma visão geral. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 6, n. 1, p. 1-18, 2005.

KRONBERG, B. I.; BENCHIMOL, R. E. Geochemistry and geochronology of

surficial Acre Basin sediments (Western Amazonia): key information for climate reconstruction. **Acta Amazonica**, v.22, n.1, p.51-69, 1992.

KRONBERG, B.; BENCHIMOL, R. Aridez no Acre: a história climática de uma região. **Ciência Hoje**, v. 16, n. 1, p.44-47, 1993.

LEITE, F. P. R. **Palinologia da Formação Solimões, neógeno da bacia do Solimões, Estado do Amazonas, Brasil: implicações paleoambientais e bioestratigráficas**. 2006. 135 f. Tese (Doutorado) - Universidade de Brasília, Brasília.

LEITE, J. A.; MEDINA, B. F. **Perda de solo em um Latossolo Amarelo do estado do Amazonas sob diferentes sistemas culturais**. Manaus: Centro Nacional de Pesquisa de Seringueira e Dendê, 1985. 5 p. (Pesquisa em Andamento, 27)

LIMA, H. N.; MELLO, J. W. V. ; SCHAEFER, C. E. G. R.; KER, J. C.; LIMA, A. M. N. Mineralogia e química de três solos de uma topossequência da bacia sedimentar do alto Solimões, Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 30, n.1, p. 59-68, 2006.

LIMA, H. N. **Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental**. 2001. 176 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa

LUCAS, Y.; SOUBIÉS, F.; CHAUVEL, A.; DESJARDINS, T. Estudos do solo revelam alterações climáticas da Amazônia. **Ciência Hoje**, v. 16, n. 93, p.36-39, 1993.

MARQUES, J. J.; TEIXEIRA, W. G.; SCHULZE, D. G.; CURI, N. Mineralogy of soils with unusually high exchangeable Al from the western Amazon Region. **Clay Mineralogy**, v. 37, p. 651-661, 2002.

MARTINS, J. S. **Pedogênese de podzólicos vermelho-amarelos do Estado do Acre, Brasil**. 1993. 101 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém.

NEILL, C.; ELSENBEER, H.; KRUSCHE, A.V.; LEHMANN, J., MARKEWITZ,

D.; FIGUEIREDO; R. O. Hydrological and biogeochemical processes in a changing Amazon: results from small watershed studies and the large-scale biosphere-atmosphere experiment. **Hydrological Processes**, v. 20, n.12, p. 2467 – 2476, 2006.

MÖLLER, M.R.F.; KITAGAWA, Y. **Mineralogia de argilas em Cambissolos do Sudoeste da Amazônia Brasileira**. Belém, PA: EMBRAPA-CPATU, 1982. 19 p. (EMBRAPA-CPATU. Boletim de Pesquisa, 34).

NOBREGA, M. S.; WADT, P. G. S. **Características da espiga de milho em função do nitrogênio aplicado em cobertura**. In: XVI SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA PIBIC-UFAC. 16., 2007. Rio Branco, AC **Anais...** Rio Branco: UFAC. 2007. 2 p. 1. CD-ROM.

RANCY, A. A paleofauna da Amazônia indica áreas de pastagem com pouca cobertura vegetal. São Paulo, **Ciência Hoje**, n. 16, p. 48-51, 1993.

RANZI, A. **Paleoecologia da Amazônia: Megafauna do Pleistoceno**. Florianópolis: Ed. Da UFSC; Rio Branco: UFAC, 2000. 101 p.

RÄSÄNEN, M.; LINNA, A. M.; SANTOS, J. C. R.; NEGRI, F. R. Late Miocene tidal deposits in the Amazonian foreland basin. **Science**, v. 269, n. 5222, p. 386-390, 1995.

RESENDE, M.; MACHADO, R.P. Cotas fluviométricas do rio Acre, suas causas e implicações na política da colonização. **Acta Amazonica**, v. 18, n.3/4, p.85-92, 1988.

RESENDE, M.; CURI, N.; KER, J. C.; REZENDE, S. B. **Mineralogia de solos brasileiros: interpretações e aplicações**. Lavras: UFLA, 2005, 192 p.

RIBEIRO, M.; KER, J. C.; AMARAL, E. F. do; SILVA, J. R. T.; DUARTE, M. A. Características químicas e mineralógicas de alguns solos do estado do Acre. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. 26., 1997, Rio de Janeiro **Resumos....** Rio de Janeiro: SBCS, 1997. 1 CD-ROM.

RODRIGUES, T. E. Solos da Amazônia. In: ALVAREZ V. V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do**

Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, MG: SBCS:UFV, 1996. p.19-60.

SILVA, A. L. F. da; SOUZA, L. F. de.; WADT, P. G. S.; PEREZ, D. V.; TEIXEIRA, S. T. Condutividade elétrica e pH no extrato de saturação em solos tratados com duas fontes de lodo de curtume. In: XVI SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA PIBIC-UFAC. 16., 2007. Rio Branco, AC [Anais...] Rio Branco: UFAC. 2007. 2 p. 1. CD-ROM.

SILVA, J. R. T. **Solos do Acre: caracterização física, química e mineralógica e adsorção de fosfato.** 1999. 117 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SILVA, L. M. ; TEIXEIRA, S. T. ; PIRES, A. M. M. ; PEREZ, D. V. ; WADT, P. G. S. Caracterização química de resíduos de curtume e seu potencial agrônomo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2009. Fortaleza, CE. [Anais...] Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009.

SILVEIRA, M.; DALY, D. C.; SALIMON, C. I.; WADT, P. G. S.; AMARAL, E. F. do; PEREIRA, M. G.; PASSOS, V. **Ambientes físicos e coberturas vegetais do Acre.** In: DALY, D. C.; SILVEIRA, M. Primeiro catálogo da flora do Acre, Brasil. Rio Branco, AC: Ed. UFAC, 2008. p. 33-66.

SOUZA, L. F.; WADT, P. G. S.; BERTOTTI, F.; SILVA, A. L. F. da; PÉREZ, D.V. Efeito do N em cobertura na produtividade do milho cultivado em área tratada com lodo de curtume. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007. [Anais...] Gramado: SBCS. 2007a. 3 p. (CD-ROM).

SOUZA, L. F.; WADT, P. G. S.; PÉREZ, D. V. Avaliação do nitrogênio orgânico de duas fontes do lodo de curtume sobre o rendimento de matéria seca na germinação de plantas de milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007. [Anais...] Gramado: SBCS. 2007a. 3 p. (CD-ROM).

SOUZA, L. F. de; SILVA, A. L. F. da; BERTOTTI, F.; TEIXEIRA, S. T.; WADT, P. G. S.; PEREZ, D. V. Absorção e partição do nitrogênio em plantas de milho

adubadas com lodo de curtume. In: XVI SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA PIBIC-UFAC. 16., 2007. Rio Branco, AC [Anais...] Rio Branco: UFAC. 2007. 3 p. 1. CD-ROM.

SUMNER, M. E.; FARINA, P. M. W.; HURST, V. J. Magnesium fixation – a possible cause of negative yield responses to lime applications. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Baltimore, v. 9, p. 995-1007, 1978.

TEIXEIRA, S. T.; BERTOTTI, F.; PEREZ, D. V.; WADT, P. G. S. Alterações nos atributos químicos de solo tratado com lodo de curtume. In: FERTIBIO. 2008, Londrina, PR. **Desafios para o uso do solo com eficiência e qualidade ambiental**: anais. Viçosa, MG: SBCS, 2008.

TEIXEIRA, S. T. ; WADT, P. G. S. ; PEREZ, D. V. ; SILVA, L. M. . Manejo de resíduos de curtume em solos amazônicos: Plintossolo. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2009. Fortaleza, CE. [Anais...] Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009.

TRICART, J. Evidence of Upper Pleistocene dry climates in Northern South America. In: DOUGLAS, I.; SPENCER, T. (Ed.). **Environmental change and tropical geomorphology**. London: Allen & Unwin, 1985. p. 197-217.

VOLKOFF, B.; MELFI, A. J.; CERRI, C. C. Solos podzólicos e cambissolos eutróficos do alto rio Purus (Estado do Acre). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 13, p. 363-372, 1989.

WADT, P. G. S. **Manejo de solos ácidos do Estado do Acre**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre. 2002. 28 p. (Embrapa Acre. Documentos, 79).

WADT, P. G. S. ; PEREZ, D. V. ; NÓBREGA, M. de S. ; BERTOTTI, F. . Produtividade do milho em área de pastagem degradada, tratada com lodo de curtume. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007. [Anais...] Gramado: SBCS. 2007a. 3 p. (CD-ROM).

WADT, P. G. S.; CRAVO, M. Interpretação dos resultados de análise de

solos In: WADT, P. G. S. **Manejo do Solo e Recomendação de Adubação para o Estado do Acre**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2005.

WADT, P. G. S.; DIAS-FILHO, M. B.; SOARES, J. P. G. Manejo do Solo em Pastagens Plantadas. In: WADT, P. G. S. **Manejo do Solo e Recomendação de Adubação para o Estado do Acre**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2005, p. 459-490.

WADT, P. G. S.; PEREIRA, M. G.; SOUZA, L. F. de. Práticas para o controle da erosão hídrica. In: WADT, P. G. S. (Ed.). **Sistema plantio direto e controle de erosão no Estado do Acre**, Rio Branco: Embrapa Acre, 2007. p.19-78.

WADT, P. G. S.; PÉREZ, D.V.; NÓBREGA, M. de S. Alteração na fertilidade do solo, teor de nutrientes e no estabelecimento inicial de milho cultivado em áreas tratada com lodo de curtume. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007. **[Anais...]** Gramado: SBCS. 2007b. CD-ROM.

WADT, P. G. S.; PÉREZ, D. V.; NÓBREGA, M. de S. Produtividade do milho em área de pastagem degradada, tratada com lodo de curtume. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007. **[Anais...]** Gramado: SBCS. 2007c. CD-ROM.

WESTAWAY, R. Late Cenozoic sedimentary sequences in Acre state, southwestern Amazonia: Fluvial or tidal? Deductions from the IGCP 449 fieldtrip. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 21, n.1-2, p. 120–134, 2006.

Mateus Rosas Ribeiro

Introdução

Com uma área que corresponde aproximadamente a 1/5 do território nacional e contendo mais de 30% da população do país, o Nordeste continua a abrigar um dos maiores bolsões de pobreza do hemisfério ocidental (CODEVASF, 1976). A grande extensão de terras semi-áridas e os efeitos, cada vez mais pronunciados, das secas frequentes sempre foram os principais fatores determinantes da vulnerabilidade econômica regional, inviabilizando a estrutura de produção baseada unicamente em atividades de sequeiro.

Sem negar a importância das atividades de sequeiro para a economia regional, a inclusão da irrigação nos sistemas de produção é condição quase indispensável à sobrevivência das pequenas e médias propriedades agrícolas na maior parte do semi-árido nordestino (RIBEIRO, 2003).

Por outro lado, com o uso da irrigação, a exploração da terra intensifica-se significativamente, promovendo considerável mudança na dinâmica evolutiva natural dos solos, podendo, frequentemente, ocasionar a degradação das propriedades físicas e químicas, comprometendo a sustentabilidade do sistema produtivo (SANTOS, 1988).

Por esta razão a implantação de projetos públicos ou privados de irrigação deve ser precedida de um correto planejamento, que tem como base o conhecimento do solo e das suas limitações, através de levantamentos de solos e classificação de terras para irrigação, visando o manejo adequado do solo e da água. Grandes insucessos têm sido

observados, inclusive na iniciativa privada, com a implantação de irrigação com o uso de alta tecnologia hidráulica e nenhum conhecimento sobre as propriedades e o comportamento dos solos.

Os projetos governamentais de irrigação implantados pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) e pela Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e Parnaíba (CODEVASF), e que contribuíram para mudar a economia das áreas sob sua influência, como o caso do Pólo Petrolina – Juazeiro, muitas vezes deixam a desejar em termos de eficiência e, em outros casos, após um período de florescimento entram em declínio, ou mesmo são desativados, como os perímetros de Moxotó e Custódia, em Pernambuco, Sumé, na Paraíba, e muitos outros, com graves implicações sociais (RIBEIRO, 2003).

Entre as causas da degradação aparece, em primeiro plano, o manejo inadequado do solo e da água, como consequência do desrespeito às características dos solos, por desconhecimento ou priorização de fatores políticos e financeiros sobre informações técnicas, além do baixo nível técnico dos irrigantes.

A não execução dos sistemas de drenagem, a irrigação de terras marginais, o uso excessivo de água e a falta de manejo têm contribuído para a degradação de terras nos perímetros em operação, além do desperdício de água, numa época em que as previsões sobre o aumento da escassez de água são alarmantes.

Neste texto é feita uma abordagem regional sobre a forma de utilização e a racionalização do uso da água para fins de irrigação na região Nordeste e sua relação com as classes de solos e práticas de manejo.

A irrigação no Nordeste do Brasil

A implantação dos projetos de irrigação na região Nordeste data da década de 1930, com a construção dos grandes açudes pelo DNOCS. Em 1934, o DNOCS começou a se preocupar com os estudos de solos, chamados então de estudos agrológicos, sendo o primeiro levantamento de solos, de autoria do Engenheiro Agrônomo José Ferreira de Castro, o Reconhecimento Agrológico de Parte da Bacia de Irrigação do Açude Público São Gonçalo-PB, publicado no Boletim da

antiga Inspeção Federal de Obras Contra as Secas (SOUZA, 1966).

As áreas dos perímetros implantados pelo DNOCS, em sua grande maioria, ocuparam as planícies aluviais, a jusante das grandes barragens, caracterizadas pela presença de Neossolos Flúvicos de textura geralmente argilosa, argilo-siltosa ou franco argilosa, com teores altos de silte e baixa permeabilidade (Figura 1). Salinidade e sodicidade já eram características pré-existentes em áreas localizadas destes perímetros. Os sistemas de irrigação adotados foram os de irrigação por sulcos ou inundação.



Figura 1. Perfil de Neossolo Flúvico Ta Eutrófico solódico, textura argilosa/arenosa, do Perímetro Irrigado de Custódia, Pernambuco.

Embora as recomendações técnicas indicassem o requerimento de drenagem, os sistemas não foram feitos ou, quando feitos, não foram suficientes para promover o rebaixamento do lençol freático e a lavagem dos sais. O baixo nível dos irrigantes e o uso excessivo de água resultaram na salinização de muitos lotes, principalmente, aqueles mais afastados da linha de drenagem principal, a calha do rio.

Os processos de salinização se agravaram em virtude da baixa qualidade das águas de alguns açudes. A ausência de controle nas bacias hidrográficas, permitindo a construção indiscriminada de pequenas barragens a montante, e a ocorrência mais frequente de secas, têm impedido o sangramento anual dos grandes açudes, aumentando os problemas na qualidade das águas ou mesmo a suspensão da irrigação por falta de água, como ocorre nos perímetros de Moxotó (açude Poço da Cruz) e Custódia em Pernambuco, e Sumé, na Paraíba. A irrigação com água de Poços Amazonas, de pior qualidade, tem agravado ainda mais o problema da salinização (Figura 2).



Figura 2. Aspecto da superfície de um solo salino ($CE_{es} = 47 \text{ dSm}^{-1}$), no perímetro de Moxotó, município de Ibimirim, PE ($8^{\circ}32' \text{ S}$ e $37^{\circ}41' \text{ W}$), mostrando a crosta salina esbranquiçada e a ausência de vegetação. A única planta presente é um indivíduo de *Atriplex*, espécie altamente tolerante à salinidade. Foto disponibilizada pelo Centro de Referência e Informação de Solos do Estado de Pernambuco – CRISEP/UFRPE.

A partir de 1960, com a expansão da irrigação no Vale do São Francisco, pela CODEVASF, os estudos básicos para projetos de irrigação passaram a exigir além do levantamento de solos, a classificação de terras para irrigação, segundo diretrizes definidas pelo *U.S. Bureau of Reclamation* do Departamento do Interior dos Estados Unidos (CARTER, 1993).

No vale do São Francisco os projetos foram desenvolvidos em terras altas, fora da planície aluvial, envolvendo geralmente, coberturas de sedimentos pleistocênicos sobre rochas do pré-cambriano, áreas de ocorrência de Latossolos Amarelos e, principalmente, Argissolos Amarelos plínticos e com fragipã, tipicamente representados pelos projetos Bebedouro e Nilo Coelho-PE, Maniçoba e Curaçá-BA.

O sistema de irrigação adotado no início da implantação dos projetos Bebedouro e Nilo Coelho foi o de irrigação por sulcos. Este sistema era totalmente desaconselhado, pois os solos apresentam textura superficial arenosa, com alto nível de infiltração, e um impedimento de drenagem, em profundidade, representado pelo embasamento cristalino. Este sistema foi paulatinamente substituído, com a divulgação da irrigação por aspersão, microaspersão e gotejamento, mais indicados para o tipo de solo, apesar do sistema tradicional ainda ser utilizado por muitos irrigantes.

Apesar dos levantamentos básicos recomendarem necessidade de drenagem, em virtude da textura superficial dos solos e do bloqueio de drenagem representado pelo embasamento cristalino, as informações técnicas não foram consideradas na implantação do projeto (Figura 3).

A não execução dos sistemas de drenagem, a irrigação de terras previstas para sequeiro, o uso excessivo de água e a falta de manejo têm contribuído para a degradação das terras nos perímetros em operação. O projeto Nilo Coelho, o de maior sucesso, ressentiu-se da falta de um projeto geral de drenagem.



Figura 3. Perfil de Argissolo Amarelo Eutrófico fragipânico, textura média(leve)/argilosa, irrigado por sulco no Projeto Curaçá-BA, mostrando a presença de lençol freático.

A carência de terras irrigáveis de boa qualidade, e a necessidade de assentamento das populações deslocadas com a construção das hidroelétricas, tem levado ao enquadramento de terras marginais como irrigáveis com uso especial, para determinadas culturas ou métodos de irrigação, que deveriam ser monitoradas para observação do seu comportamento sob irrigação. Como exemplos podem ser citados os projetos Manga de Baixo - PE e Califórnia - SE, onde são irrigados Luvisolos Crômicos e Neossolos Regolíticos em

regime de aspersão.

No projeto Califórnia, o grande problema é a erosão, em virtude da baixa permeabilidade, pequena profundidade e relevo suave ondulado dos solos. Mais uma vez a falta de assistência e de conhecimento técnico dos irrigantes tem acelerado os problemas de degradação dos solos por erosão e salinização. No perímetro é prática comum a redução do tempo de funcionamento dos aspersores para a metade, com o aumento da vazão e conseqüente aumento do escoamento superficial, e o represamento das linhas naturais de drenagem para a criação de peixes.

O avanço da tecnologia nos métodos de irrigação, com difusão das técnicas de fertirrigação, tem, por outro lado, permitido a incorporação de áreas anteriormente consideradas como não irrigáveis, envolvendo Neossolos Quartzarênicos e Latossolos de textura média (leve), que estão sendo utilizados com microaspersão, na fruticultura.

Outra classe de solo utilizada no Nordeste são os Vertissolos, característicos dos projetos Mandacaru e Tourão, na Bahia. Pelas suas características de baixíssima permeabilidade desde a superfície, os Vertissolos se adaptam bem à irrigação por sulcos. O projeto Mandacaru, explorado por pequenos irrigantes há 33 anos, com culturas diversificadas, tem os problemas comuns de falta de assistência técnica por parte do governo. O projeto Tourão, com a Usina Agrovale produzindo cana-de-açúcar há 20 anos, atingiu um razoável nível de tecnologia e adota um excelente manejo de solo e água, com um sistema eficiente de drenagem superficial e controle da umidade dos solos através de sonda de nêutrons. A irrigação é suspensa quando a umidade atinge 40 cm, com a drenagem superficial do excesso feita durante 6 a 12 horas. Está também sendo implantado experimentalmente, um sistema de gotejamento subsuperficial, na área destes solos.

Considerações finais

O manejo do solo e da água nos sistemas de agricultura irrigada deve ser conduzido de forma a prevenir e controlar os processos secundários da salinização, e para isto deve ser feita uma criteriosa

avaliação e estudo do solo e da água, fontes potenciais do problema. Seguem algumas recomendações de manejo para ambientes e solos específicos:

- Em perímetros como os do Pólo Petrolina–Juazeiro, com águas de boa qualidade, solos arenosos e com problemas de drenagem subsuperficial, as atenções devem ser voltadas para a melhoria da eficiência da irrigação, fazendo com que o sistema de distribuição funcione com o mínimo de perdas, evitando a formação de lençol freático.
- Em perímetros instalados nas áreas aluviais, caracterizadas por Neossolos Flúvicos de baixa permeabilidade, com problemas de salinidade e sodicidade já existentes nos solos e nas águas de irrigação, a preocupação principal é a instalação de um sistema eficiente de drenagem superficial e subterrânea com capacidade de retirar o excesso de água resultante das perdas do sistema de distribuição e do escoamento superficial de áreas adjacentes.
- No caso das áreas de Vertissolos, não indicados para drenagem subsuperficial, é necessário um rigoroso controle do volume de água aplicado e um eficiente sistema de drenagem superficial para retirada do excesso, além do acompanhamento constante do grau de umidade do solo e da profundidade que se deseja trabalhar.
- Nos solos da classe dos Luvisolos Crômicos, de relevo suave ondulado, onde são utilizados apenas os métodos de aspersão, microaspersão ou gotejamento, devem ser feitos o controle da intensidade do volume de água aplicado, para evitar o escoamento superficial e a erosão, além da utilização de práticas conservacionistas e implantação de drenagem nas áreas de talvegue.

Em todos os casos é imprescindível o monitoramento do teor de água do solo em toda a área irrigada e a instalação de uma rede de poços de observação do lençol freático com medições regulares. No caso do uso de águas de má qualidade, como as dos poços amazonas, torna-se necessária a existência de um sistema de drenagem interna eficiente e o uso de lâminas de lixiviação, volume de água adicional para lixiviar os sais concentrados em torno do sistema radicular das plantas, em irrigações anteriores e uso de plantas tolerantes.

Propostas de ação

Como ações básicas necessárias à melhoria da gestão do planejamento da irrigação e da eficiência e sustentabilidade dos projetos sugerem-se entre outras:

- Monitoramento dos projetos de irrigação em operação, principalmente aqueles com problemas de profundidade e drenagem visando o controle da salinidade e o desenvolvimento de práticas de manejo adaptadas às suas características e que viabilizem a sua sustentabilidade.
- Avaliação econômica dos perímetros em operação visando definir produtividade e os custos de produção e desenvolvimento das terras, as culturas viáveis e a capacidade de pagamento das mesmas.
- Elaboração de especificações detalhadas para classificação de terras para irrigação, com base no monitoramento e avaliação econômica dos projetos em operação.
- Realização de obras de drenagem geral em todos os projetos.
- Treinamento e assistência técnica permanentes visando à melhoria do nível dos irrigantes.

É indispensável que sejam retomados os investimentos governamentais, através de uma política séria de expansão da irrigação, em bases eficientes e sustentáveis, com a reestruturação de instituições como CODEVASF e DNOCS, para que estas voltem a exercer seu papel no planejamento, implantação e operação dos perímetros irrigados. Também é necessário o estímulo ao envolvimento das Instituições de Pesquisas e Universidades na solução dos problemas de manejo das áreas irrigadas.

Referências bibliográficas

CARTER, Val H. **Classificação de terras para irrigação**. Brasília: Ministério da Integração Regional, 1993. 208 p. (Manual de Irrigação, 2).

CODEVASF. **Projeto semi-árido**: proposta de desenvolvimento

sustentável da bacia do rio São Francisco e do semi-árido nordestino. Brasília: CODEVASF, 1996: 60 p.

RIBEIRO, M. R. A pedologia e o planejamento da irrigação no Nordeste do Brasil: uma avaliação crítica. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, p.13-15, 2003.

SANTOS, E. E. F. **Influência da agricultura irrigada nas propriedades de latossolos e podzólicos da região do Submédio São Francisco**. 1998. 103 f. Tese (Mestrado)- Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

SOUZA MELLO, F. E. Reconhecimento agrológico da Bacia de Irrigação do Açude Público São Gonçalo (PB). **Boletim do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas**, Recife, v. 24, p. 15-164, 1966.

Novos cenários com a
expansão da agroenergia

Parte III





Foto: Fabiano de Carvalho Balieiro
EMBRAPA SOLOS

*Fabiano de Carvalho Balieiro
Lucieta Guerreiro Martorano*

Introdução

O Brasil se tornou, ao longo das últimas décadas, uma potência agrícola e referência mundial em biocombustíveis. O país foi pioneiro, nas décadas de 80, na tecnologia que permitiu a substituição, em larga escala, do combustível derivado do petróleo pelo etanol originado da cana-de-açúcar e as perspectivas futuras são de aquecimento do setor sucroalcooleiro. De acordo com Rodrigues et al. (2008), entre 1977 e 1987, a produção de álcool saltou de 500 milhões de litros para 12 bilhões e se estabilizou na safra de 1998/99 em 14 bilhões. Em 2007 a produção de álcool hidratado e anidro atingiu a marca próxima a 20 bilhões, mostrando arrefecimento do setor, que foi felizmente impulsionado pelo desenvolvimento e popularização dos motores flexíveis (motores que funciona tanto com gasolina quanto com álcool). Previsões dos mesmos autores assumem que em 2015, 51% da frota de veículos leves brasileira será de carros com motores flexíveis e que cinco anos depois, representará 70% da frota nacional.

Da mesma forma, alterações no uso do solo estão sendo observadas em decorrência de políticas de incentivo à introdução de biocombustíveis na matriz energética nacional. O Estado de São Paulo até a safra 2003-04 concentrava os cultivos de cana-de-açúcar na região Sudeste do Brasil. A partir de 2005 a cultura avança para regiões Centro-Sul, incentivada pela mudança da matriz energética brasileira. A Figura 1 ilustra essa migração para os estados do Paraná, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais com ampliação das áreas cultivadas no Estado de São Paulo (MARTORANO et al., 2008).

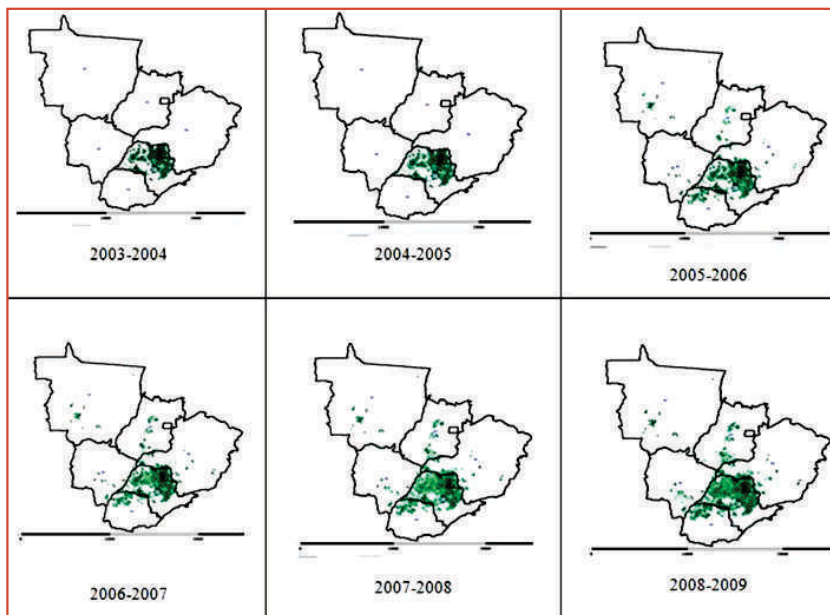


Figura 1. Expansão da cana-de-açúcar na região Cento-Sul brasileira no período de 2003-04 a 2008-09.

Em função dessas perspectivas e pensando em fornecer subsídios técnicos para formulação de políticas públicas que visam à expansão e produção sustentável de cana-de-açúcar no território brasileiro, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento em parceria com o Ministério do Meio Ambiente, encomendaram o Zoneamento Agroecológico da Cana-de-Açúcar (ZAE-Cana). Nessa parte do livro, Manzatto e colaboradores abordam no capítulo 2, de forma detalhada, as ferramentas e critérios usados nesse zoneamento e discutem os possíveis impactos do ZAE-Cana sobre as dimensões sociais, econômicas e ambientais do país.

Oportunidades e compromissos

Sabendo que a adoção de boas práticas de manejo dos solos oxídicos do Cerrado pode manter ou mesmo elevar sua fertilidade (SÁ et al., 2008), seus estoques de carbono (SILVA et al., 2004; SISTI et al., 2004; CORBEELS et al., 2006; JANTALIA et al., 2007; BEATLLE-BAYER et al., 2010) e também mitigar a emissão de gases de efeito estufa (BAYER et al., 2006; BUSTAMANTE et al., 2006; BARRETO et al., 2009), percebe-

se que o País tem competência para que a expansão da cana-de-açúcar ocorra sem comprometimento de novas áreas nativas e, competição pela produção de alimentos. Essa transformação da geografia agrícola, se concretizada em consonância com a conservação dos recursos naturais, implicará ainda em oportunidade em diferentes dimensões. É sabido, por exemplo, que o balanço energético da cultura é positivo (razão da energia produzida pelo etanol / a energia consumida por combustíveis fósseis para essa produção = 8,3). Segundo estimativas recentes (MACEDO et al., 2008), as possibilidades de aumento dessa relação e de aumento das emissões evitadas de GEE são expressivas para os próximos 14 anos. Esses autores destacam que as emissões de $\text{CO}_2\text{eq m}^{-3}$ de etanol reduzirão das atuais 436 kg para 345 e a relação energética atingirá o patamar de 11,6, apenas com adaptações de tecnologias já disponíveis. Esses valores apresentam fortes impactos da transformação em energia elétrica, de todo o bagaço da cultura e do uso de boa parte (40%) da palhada da cultura, na geração dessa energia. Por outro lado, a elevação do preço médio da tonelada de C por hectare desestimularia a pecuária na Amazônia e reduziria as emissões associadas ao desmatamento e a queima da vegetação (ECONOMIA DO CLIMA, 2008).

Desta forma, é importante que estudos sejam desenvolvidos em todo território nacional e especificamente em regiões com intensa mudança de uso do solo, no sentido de se compreender os impactos da cana-de-açúcar e qualquer outra cultura com potencial agroenergético e do seu manejo sobre os diferentes componentes do ecossistema. Nesse sentido, pesquisadores do Centro de Energia Nuclear abordam, no capítulo 3 de forma objetiva a questão do impacto do uso do solo sobre a hidrologia e a biogeoquímica de nutrientes como o N e P em regiões com elevada pressão de uso. Para os autores, as culturas com menores necessidades hídricas, nutricionais (lê-se demandas por fertilizantes) e reduzida demanda por pesticidas deveriam ser priorizadas de forma a redução nos impactos sobre o funcionamento dos ecossistemas brasileiros.

Outros estudos vêm sendo desenvolvidos para avaliar os impactos da expansão da cana-de-açúcar. Os pressupostos metodológicos adotados no âmbito do Projeto Sensor (HELMING et al., 2009) foram aplicados para avaliar efeitos decorrentes de políticas

publicas no Mercosul considerando impactos econômicos, ambientais e sociais por forças motrizes (driving forces), em função da mudança da matriz energética no país (COUTINHO et al., 2008; MARTORANO et al., 2008). Para identificar efeitos de pressão de uso e cobertura da terra, considerou-se como área sensível a bacia do Alto Taquari (BAT), principalmente pela problemática do processo erosivo das terras (MARTORANO et al., 2002; GALDINO et al., 2003; ABDON, 2004; MARTORANO et al., 2009b). A avaliação da transferibilidade da ferramenta SIAT (*Sustainability Impact Assessment Tool*), no protótipo II (VERWEIJ et al., 2008) foi realizada usando o metamodelo OpenMI que possibilitou maior facilidade no reuso de modelos matemáticos, estrutura de dados e regras de negócio, bem como a criação dinâmica de cadeias formadas por Funções Indicador e Funções Resposta, apropriadas para simulações de cenários do impacto, que para o Mercosul foi denominada de SIAT-TTC (MARTORANO et al., 2009a). A ferramenta SIAT-TTC (TAVARES, 2010) apresenta potencial de avaliação de mudança de uso e cobertura do solo (VALENCIA, 2008), inclusive considerando cenários de mudanças climáticas (LISBOA, 2008), podendo essa metodologia ser adaptada para outras políticas públicas no Brasil.

Breve reflexão sobre a conservação dos biomas frente a expansão da agroenergia

O Cerrado e a Mata Atlântica concentram a maior parte da produção agropecuária e da população brasileira. Decorrência disso, a vegetação nativa desses biomas foi bastante reduzida a ponto deles estarem dentro da lista dos biomas mais ameaçados no Planeta (*hotspots*) (MYERS et al., 2000). Em estudos recentes utilizando ferramentas de geoprocessamento, Sano et al. (2008) estimaram uma perda da cobertura vegetal nativa do Cerrado entre 40-54%, sendo a paisagem atual caracterizada por um mosaico de usos, cuja predominância é de pastagens (26,5%) e áreas agrícolas (10,5%). Já a Mata Atlântica, denominada por Laurance (2009) como "*hottest of the hotspots*", a situação é mais crítica. Após cinco séculos de colonização, dos 139,6 M ha (milhões de hectares) originais, apenas 11,4-16,0% da sua cobertura vegetal não foi perdida; e o que restou está distribuída em

mais de 245 mil remanescentes, sendo que 83,4% desses possuem área menor que 50 ha (RIBEIRO et al., 2009).

O desmatamento e as queimadas na Amazônia são objetos de infinitos questionamentos quanto a expansão da agropecuária, mas a discussão se agrava em função da região, conjuntamente ao Nordeste brasileiro (e a Caatinga), serem as mais vulneráveis à mudança do clima. Na Amazônia, o aquecimento pode chegar a 7-8°C em 2100, resultando em redução de 40% da cobertura florestal sul-sudeste-leste da Amazônia, que será substituída pelo bioma savana, segundo estudo Economia da Mudança do Clima no Brasil: custos e oportunidades (ECONOMIA DO CLIMA, 2008).

Desta forma, é interessante que políticas públicas de proteção da biodiversidade da Mata Atlântica, Cerrados, Caatinga e Floresta Amazônica sejam harmonizadas com políticas sociais específicas e diferenciadas a cada região. É mais urgente o caso dos primeiros biomas dado o elevado grau de vulnerabilidade de seus remanescentes, pressão imobiliária e perspectiva de alterações do clima. O Brasil é destaque na vanguarda de tecnologias limpas de produção de energia, de produção agropecuária, mas as novas perspectivas lançadas pelo Plano Nacional de Agroenergia e tendências macroeconômicas devem manter o compromisso da preservação da biodiversidade nacional. Quaisquer ações, sejam de pesquisa, política pública ou voluntária, que tenham como foco a preservação de nossas riquezas biológicas e sua vulnerabilidade, devem ser incentivados.

Referências bibliográficas

ABDON, M. de. **Os impactos ambientais no meio físico-erosão e assoreamento na bacia hidrográfica do rio Taquari, MS, em decorrência da pecuária.** São Carlos, SP: São Carlos, 2004.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two brazilian cerrado soils under no-till. **Soil Tillage Research**, v. 86, p. 237-245, 2006.

BARRETO, R. C.; MADARI, B. E.; MADDOCK, J. E. L.; MACHADO, L. O. A.; TORRES, E.; FRANCHINI, J.; COSTA, A. R. The impact of soil management

on aggregation, carbon stabilization and carbon loss as CO in the surface layer of Rhodic Ferralsol in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 132, n. 3-4, p. 243-251, 2009.

BATLLE-BAYER, L.; BATJES, N. H.; BINDRABAN, P. S.; Changes in organic carbon stocks upon land use conversion in the Brazilian Cerrado: a review. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 137, p. 47-58, 2010.

BUSTAMANTE, M. M. C.; CORBEELS, M.; SCOPEL, E.; ROSCOE, R. Soil carbon storage and sequestration potential in the Cerrado region of Brazil. In: LAL, R.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; ETCHERVES, J.; CERRI, E. (Ed.). **Carbon Sequestration in soils of Latin América**. New York: Haworth Press, 2006. p. 285-304.

CORBEELS, M.; SCOPEL, E.; CARDOSO, A.; BERNOUX, M.; DOUZET, J. M.; SIQUEIRA NETO, M. Soil carbon storage potencial of direct seeding mulch-based cropping systems in the cerrados of Brazil. **Global Change Biology**, v. 12, p. 1773-1787, 2006.

COUTINHO, H. L. C.; SCHLINDWEIN, S.; SIEBER, S.; JOBAGGY, E. Sensor TTC – the la plata river basin application: policy cases, main land use change drivers and Case Studies. In: IMPACT ASSESSMENT OF LAND USE CHANGES INTERNATIONAL CONFERENCE, Berlim, 2008. **Book of Abstracts** Berlim: IP SENSOR, 2008. p.129.

ECONOMIA DO CLIMA. **Economia da mudança do clima no Brasil: custos e oportunidades**. Disponível em: <http://www.economiadoclima.org.br/files/biblioteca/RESUMO_FINAL.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2010.

Helming, K.; Tscherning, K.; König, B.; Sieber S.; Wiggering H.; Kuhlmann T.; Wascher D.; Perez-Soba M.; Smeets P.; Tabbush, P.; Dilly O.; Hüttl R.; Bach H. Ex-ante impact assessment of land use changes in European regions –the SENSOR approach. In: Helming K.; Perez-Soba M.; Tabbush, P. (eds) **Sustainability Impact Assessment of Land Use Changes**. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 78-104p, 2008.

GALDINO, S.; RISSO, A.; SORIANO, B. M. A.; VIEIRA, L. M.; PADOVANI, C. R.; POTT, A.; MELO, E. C.; ALMEIDA JUNIOR, N. de. **Perdas de solo na Bacia do Alto Taquari**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2003. 40 p. (Embrapa Pantanal. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 44).

JANTALIA, C. P.; RESCK, D.V.S.; ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Tillage effect on C stocks of a clayey Oxisol under a soybean-based crop rotation in the brazilian cerrado region. **Soil & Tillage Research**, v. 95, p. 97–109, 2007.

LAURENCE, W. F. Conserving the hottest of the hotspots. **Biological Conservation**, v. 142, p. 1137, 2009.

LISBOA, L. S. **Cenários de mudanças climáticas com modelagem dinâmica na Bacia do Alto Taquari**. 2008. 117 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MACEDO, I. C.; SEABRA, J. E. A.; SILVA, J. E. A R. Green house emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: the 2005/2006 averages and a prediction for 2020. **Biomass and bioenergy**, v. 32, p. 582-595, 2008.

MANZATTO, C. V.; ASSAD, E. D.; BACCA, J. F. M.; ZARONI, M. J.; PEREIRA, S. E. M. **Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar expandir a produção, preservar a vida, garantir o futuro**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 55 p. (Embrapa Solos. Documento, 110).

MARTORANO, L. G.; GALDINO, S.; D'AGOSTINI, L. R.; PONCE, S. A., HERNANI, L. C.; CUPERTINO, J. L.; COSTA, C. A.; VIEIRA, L. M.; ROSSO, J., COSTA, A. R. C.; RAMALHO FILHO, A.; COUTINHO, H. L. C. **Índices de desempenho ambiental na bacia do Alto Taquari, MS: aspectos metodológicos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 30 p. (Embrapa Solos. Documentos, 34).

MARTORANO, L. M.; TAVARES, H.; SCHULER, A.; MEIRELLES, M. S. P.; COUTINHO, H. L. C.; FERAZ, R. P. D.; VALENCIA, I. O.; TURETTA, A. P. MONTEIRO, J. M. G. **Comparative report on the design of the SIAT-**

MERCOSUR including scenario assessments: the reports comprise specification on how to implement the scenario assessments into SIAT-MERCOSUR. [Brussels]: SENSOR, 2008. 43 p. Conceptual framework and Technical settings of TTC-Model. Deliverable: 8.4.1b.

MARTORANO, L. G.; TAVARES, H.; SCHULER, A.; MEIRELLES, M. S. P.; VALENCIA, L. I. O.; SANTOS, F. L. de O.; LISBOA, L.; TEIXEIRA, F. A.; PEREIRA, S.; FERRAZ, R. D.; MONTEIRO, J. G.; TURETTA, A. P.; COUTINHO, H. L. **SIAT-TTC design and architecture, Sustainability Impact Assessment Tool prototype:** demonstration tool at TTC-level, for MERCOSUR. Rio de Janeiro.[Embrapa Solos], 2009a. 126 p. Deliverable. 8.4.2b.

MARTORANO, L. G.; LISBOA, L.; MEIRELLES, M. S. P.; SCHULER, A. Erosive potential of rains in the climate change scenarios in the upper taquari River Basin, Ms, Brazil. In: INTERNATIONAL RESEARCH ON FOOD SECURITY, NATURAL RESOURCE MANAGEMENT AND RURAL DEVELOPMENT, 2009, Hamburg. **Biophysical and socio-economic frame conditions for the sustainable management of natural resources:** proceedings. Hamburg: University of Hamburg, 2009b.

MYERS, N.; MITTERMEIER, A. R.; MITTERMEIER, R. A.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p.853-858, 2000.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The brazilian atlantic forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, p. 1141-1153, 2009.

RODRIGUES, R.; BARRO, A. M.; CARVALHO, L. C. C. Carro flexível aquece o álcool. **Conjuntura Econômica**, v. 62, p. 35-40, 2009.

SÁ, J. C. M.; CERRI, C. C.; LAL, R.; DICK, W.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. E. Soil organic carbon and fertility interactions affected by a tillage chornosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil & Tillage Research**, v. 104, p. 56-64, 2009.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L.; FERREIRA JUNIOR, L. G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, p. 153-156, 2008.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; CORAZZA, E. J.; VIVALD, L. Carbon storage in clayey Oxisol cultivated pasture in the “cerrado” region, Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 103, p. 357-363, 2004.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil Till. Res.**, v. 76, p. 39-58, 2004.

TAVARES, H. dos S. **Uma abordagem baseada em Workflow para auxiliar nas avaliações de impactos de mudança de uso e cobertura do solo**. 2010. Dissertação (Mestrado em Informática) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

VALENCIA, L. I. O. **Enfoque da estatística espacial em modelos dinâmicos de mudança do uso do solo**. 2008. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Computação) – Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

VERWEIJ, P. J. F. M.; ROLLER, J.; MEULEBROUK, B.; KNAPEN, R.; VAN RANDEN, Y.; DE WINTER, W.; DE KOPPEL, P. SIAT design and architecture, **Sustainability Impact Assessment Tool prototype II**. [s.l.]: SENSOR, 2008. 68 p. Deliverable 4.3.1.

Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar: abordagem metodológica para integração temática de grandes áreas territoriais

02

Celso Vainer Manzatto

Jesus Fernando Mansilla Baca

Sandro Eduardo Marschhausen Pereira

Eduardo Delgado Assad

Margareth Simões Penello Meirelles

Angel Filiberto Mansilla Baca

Uebi Jaime Naime

Paulo Emílio Ferreira da Motta

Introdução

O consumo crescente de combustíveis fósseis frente às reservas existentes e os cenários referentes ao aquecimento global para os próximos anos, causado em sua maioria, pela emissão de dióxido de carbono, sinalizam para os governos a necessidade de diversificação na matriz energética mundial. Desta forma, este alerta lançado ao mundo sobre os efeitos do aquecimento e a necessidade de se pensar a substituição dos combustíveis veiculares derivados do petróleo fez ressurgir a idéia da produção de álcool. Esta nova realidade favorece o Brasil por dois motivos: primeiro, é o país com experiência de mais de trinta anos em programa de biocombustíveis, o maior exportador de etanol combustível do mundo e o segundo maior produtor; e, segundo, dispõe de grandes áreas agricultáveis, além de clima, solo e relevo favoráveis, possibilitando a expansão e a utilização racional de áreas antropizadas com biocombustíveis sem provocar novos desmatamentos ou reduzir as áreas utilizadas para produção de alimentos.

Atualmente, o setor sucroalcooleiro passa por momento de forte expansão. Estimativas da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) para a safra 2009, indicam que o volume total a ser processado pelo setor, deverá atingir um montante de 629,0 milhões de toneladas.

Este volume representa um aumento de 10,0% do obtido na safra anterior, mantendo o ritmo de expansão do setor nos anos recentes. Para a região Centro-Sul, que inclui os Estados da região Sudeste, Sul e Centro-Oeste, cuja participação está próxima de 90,0% do total nacional, os resultados indicam um aumento de 11,8% no volume da cana a ser processada. Desse total, foi estimado, que 44,7% será destinado à fabricação de açúcar e 55,3% à produção de álcool.

Neste cenário surge, no entanto, um novo desafio para o setor relacionado justamente com a rápida expansão da agricultura canavieira e seu impacto no território. Até então, a única interferência direta do governo no processo de autorização de novas usinas se dava pelo cumprimento da legislação ambiental brasileira, que não se mostra suficiente para assegurar uma expansão harmônica do setor.

Como instrumento de planejamento, o Governo Federal, através da Casa Civil, determinou ao Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento (MAPA) em parceria com o Ministério do Meio Ambiente (MMA), a elaboração do Zoneamento Agroecológico da cana-de-açúcar (ZAE-Cana) visando fornecer subsídios técnicos para indicar as melhores áreas destinadas a expansão do cultivo da cana-de-açúcar, com base nos fatores físicos, bióticos, sócio-econômicos e jurídico-institucionais do território nacional.

Esta iniciativa inédita no país foi além do tradicional zoneamento agrícola de risco climático destinado principalmente para atender ao seguro rural. O objetivo geral do Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar para a produção de etanol e açúcar é fornecer subsídios técnicos para formulação de políticas públicas, visando à expansão e produção sustentável de cana-de-açúcar no território brasileiro. A metodologia desenvolvida para o ZAE-Cana contemplou um estudo mais completo do território, envolvendo além das cartas de solo e dados climáticos, a análise integrada do uso e cobertura vegetal da terra, relevo, hidrografia, e áreas ambientalmente protegidas. Insere-se portanto, o princípio de sustentabilidade que preconiza que a produção de uma cultura deve ser obtida através de técnicas de cultivos economicamente viáveis e sem riscos à degradação ambiental, estando alinhada com os objetivos e preceitos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), previstos pelo Protocolo de Quioto. Apresenta-se assim, como um documento norteador para os

investimentos públicos e privados, subsidiando políticas públicas federais e estaduais para a cadeia produtiva agroenergética: etanol e a co-geração de energia provenientes da cana-de-açúcar.

O Governo Brasileiro demandava ainda a geração de informações sobre o território em curto espaço de tempo, visando à instalação de um processo interno de tomada de decisão quanto à expansão e ordenamento do cultivo, visando à formulação de políticas públicas voltadas ao ordenamento territorial. Assim foi necessário o desenvolvimento de uma abordagem metodológica inovadora para a integração temática de informações espaciais de grandes áreas territoriais, baseada em regras de conhecimento, como ferramenta para o rápido processamento do zoneamento.

Para tanto, foram definidos, inicialmente, delineamentos gerais de caráter técnico, ambiental e social para a elaboração do Zoneamento Agroecológico, tais como: a aptidão agrícola das terras, o risco climático, o potencial de produção agrícola sustentável, a vulnerabilidade das terras e a legislação ambiental vigente.

Utilizando de técnicas de processamento digital procedeu-se a uma avaliação do potencial das terras para a produção da cultura da cana-de-açúcar em regime de sequeiro (sem irrigação plena), tendo como base as características físicas, químicas e mineralógicas dos solos expressos espacialmente em levantamentos de solos; o uso atual das terras; o modelo digital de elevação do terreno; e em estudos sobre risco climático, procedeu-se uma análise quanto aos requerimentos da cultura quanto a precipitação, temperatura, ocorrência de geadas e veranicos.

O resultado deste trabalho foi a produção de relatórios técnicos com os correspondentes mapas, assim como a base de dados espaciais que mostram a potencialidade de expansão da produção da cana-de-açúcar em aproximadamente 64 milhões de hectares e tem permitido estabelecer a política pública para a expansão da área de produção de cana-de-açúcar de 8,5 milhões de hectares até 2017, ou seja, a duplicação da área da produção da cana-de-açúcar o que permitirá atender a seguridade alimentar com mais produção de açúcar assim como a do etanol para fines energéticos de acordo novos requerimentos dos mercados nacionais e mundiais.

Diretrizes gerais do Zae-Cana

O Zoneamento Agroecológico da cana-de-açúcar foi uma encomenda do Governo Brasileiro para a expansão da produção de cana-de-açúcar para a produção de etanol e açúcar levando em consideração aspectos econômicos, sociais e ambientais, de acordo com as seguintes diretrizes:

- Indicação de áreas com potencial agrícola para o cultivo da cana-de-açúcar sem restrições ambientais;
- Exclusão de áreas com vegetação original e indicação de áreas atualmente sob uso antrópico;
- Exclusão de áreas para cultivo nos biomas Amazônia, Pantanal e na Bacia do Alto Paraguai;
- Diminuição da competição direta com áreas de produção de alimentos;
- Diminuição da competição com áreas de produção de alimentos;
- Indicação de áreas com potencial agrícola (solo e clima) para o cultivo da cana-de-açúcar em terras com declividade inferior a 12%, propiciando a produção ambientalmente adequada com colheita mecânica;
- Unidades industriais já instaladas, a produção de cana para seu suprimento e a expansão programada não são objeto deste zoneamento.

Material e métodos do ZAE-Cana

A área de estudo do ZAE-Cana compreendeu inicialmente todo o território nacional, conforme apresentada na Figura 1. Como mostrada nesta figura, foram excluídos do Zoneamento a Amazônia (vermelho), o Pantanal (azul claro) e a Bacia do Alto do Paraguai (azul escuro).

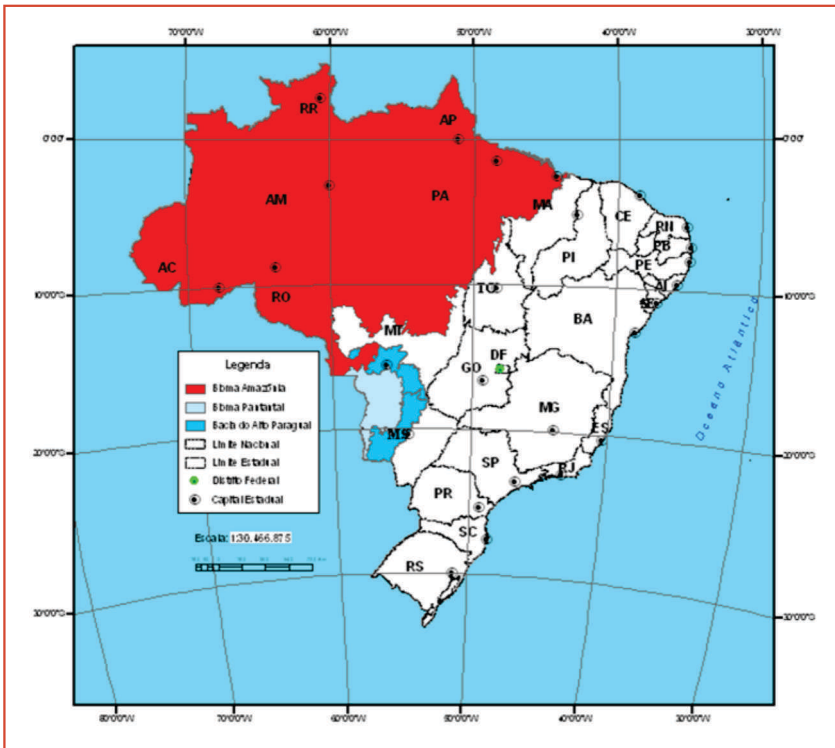


Figura 1. Área do Zoneamento de todo o território brasileiro com exceção da Amazônia, o Pantanal e a Bacia do Alto Paraguai.

O trabalho foi desenvolvido aplicando o esquema da Figura 2, que representa o Esquema Conceitual da Metodologia Geral do Zoneamento utilizada neste estudo. Inicialmente foi desenvolvida uma pesquisa bibliográfica sobre as diferentes metodologias de Zoneamento e temáticas a serem empregadas, de modo a apresentar o estado da arte de cada uma de elas.

De modo geral, a metodologia foi desenvolvida em quatro fases: Fase 1) Determinação da Aptidão das Terras para a cana-de-açúcar, que é um dos principais componentes do Zoneamento, mostrando que a aptidão natural dos solos para a cultura; Fase 2) Determinação da Aptidão Climática que é outro componente importante que relaciona as características meteorológicas das diferentes regiões para a cultura da cana-de-açúcar; Fase 3) Obtenção de uma máscara para excluir a Amazônia, Pantanal e a Bacia do Alto do Paraguai, as áreas de proteção legal (unidades de conservação, terras indígenas, e outras), mapas de uso da terra das quais desconsideraram-se as áreas agrícolas, e mapas

de declividade da terra que tiveram uma declividade maior do 12%; Fase 4) Integração temática que foi feita com os resultados das aptidões das terras e climática, sendo mapeadas nas áreas resultado da mascara do zoneamento obtida na Fase 3). A base cartográfica utilizada constituiu-se dos limites nacionais, estaduais e municipais, principais capitais e cidades, rede hidrográfica e viária do Brasil e outras informações relevantes para o trabalho.

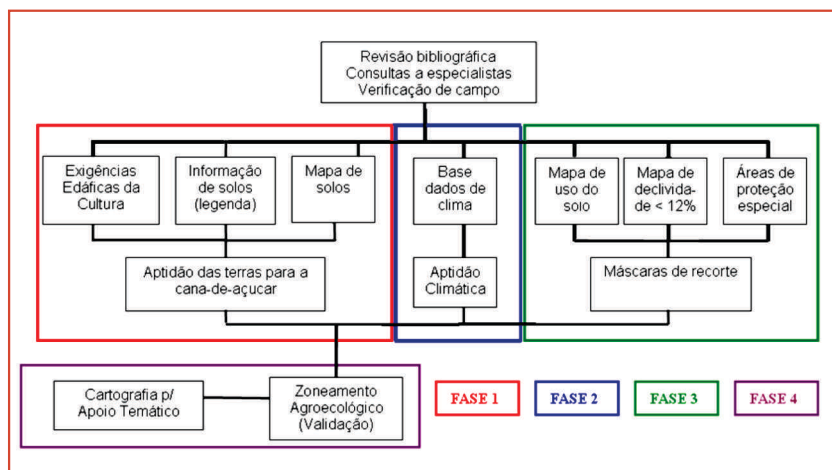


Figura 2. Esquema Conceitual do Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar.

Fase 1 - Aptidão agrícola das terras

Os trabalhos de aptidão agrícola das terras seguiram os lineamentos do Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (RAMALHO; BEEK, 1995) e, para sua automatização foram adotados procedimentos conforme apresentado na Figura 3.

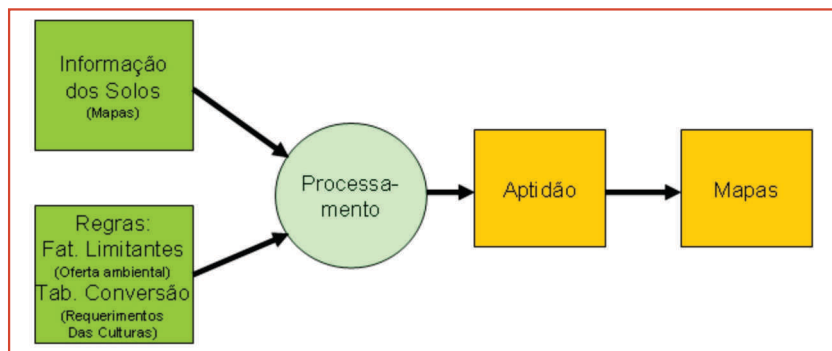


Figura 3. Esquema demonstrativo de avaliação da aptidão agrícola das terras.

O esquema acima mostra que as entradas para o desenvolvimento dos trabalhos de aptidão foram: as informações de solos implícitas nos mapas existentes, considerando principalmente a escala do levantamento de solos. Deve-se considerar que os mapas de solos são apresentados por conjuntos de polígonos justapostos considerados homogêneos quanto aos atributos de solos, que caracterizam cada unidade de mapeamento. No entanto cada Unidade de Mapeamento tem um ou mais Componentes (classes de solos). Desta forma é necessário realizar um trabalho preliminar de separação dos componentes da legenda, pois os dados de solos referem-se às classes de solos. Os principais atributos de solos (componente) analisados como oferta ambiental e utilizados na avaliação da aptidão agrícola das terras estão apresentados na Figura 4.

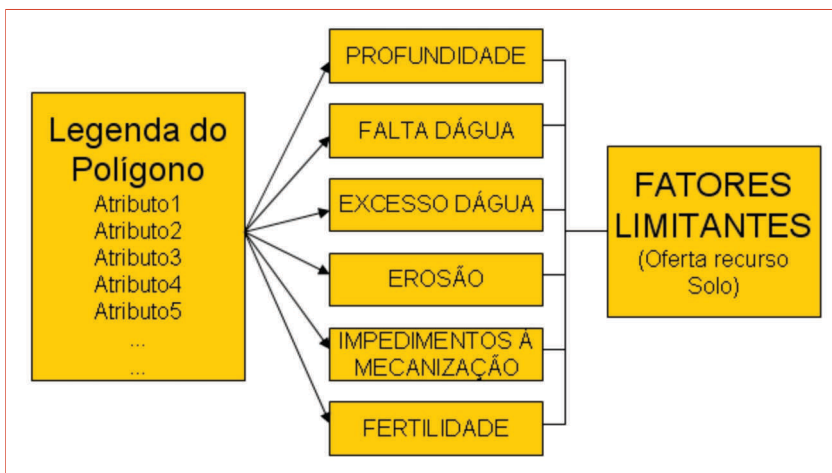


Figura 4. Atributos de solos empregados na avaliação da aptidão agrícola das terras.

Com as informações de atributos de solos, nível de manejo a ser aplicado e requerimento ambiental do tipo de cultura, foram implementados os procedimentos para a automatização do processamento de avaliação da aptidão agrícola. Na Figura 5 é apresentada a seqüência de processamento das informações.

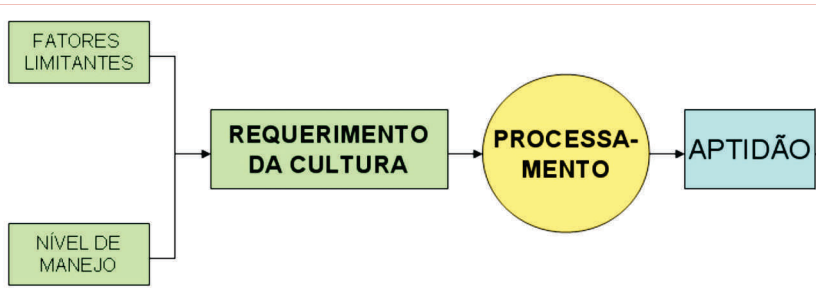


Figura 5. Esquema de processamento para avaliação da aptidão agrícola das terras.

A Figura acima mostra o fluxograma conceitual. Então, inicialmente prepara-se uma tabela com os graus de limitação dos atributos de solos, implícito a viabilidade de melhoramentos para o tipo de cultura especificado. Nessa fase é primordial que se tenha um bom conhecimento das características agronômicas da cultura considerada para estabelecer esses graus de limitações. Isso porque os tipos de culturas têm reações diferentes ao um mesmo atributo de solo, o que pode constituir fase crítica de avaliação desses graus.

Deve-se considerar que estes esquemas apresentados nas Figuras 3, 4 e 5 foram implementados pela construção de regras de conhecimento dos especialistas de solos, da cultura de cana-de-açúcar, que inicialmente implementaram as Tabelas de Restrições dos Solos e a Tabela de Conversão (requerimentos das culturas) que resulta no relacionamento da oferta ambiental (recurso solos) e as necessidades da cultura.

O resultado deste processo é a determinação da classe de aptidão de cada componente da unidade de mapeamento (UM) pedológica. Nos trabalhos desta natureza, usualmente a classe de aptidão da UM é representada pela aptidão do primeiro componente. Neste trabalho, entretanto, para uma maior precisão da avaliação, atribuiu-se à UM a simbologia da classe de aptidão dominante entre os componentes, ou seja, a classe de aptidão de maior expressão territorial dentro da UM. Finalmente a simbologia da legenda é ligada ao polígono correspondente no processo de mapeamento (Figura 3), obtendo-se desta maneira o Mapa de Aptidão das Terras para a cana-de-açúcar, que espacialmente apresenta as áreas com a correspondente aptidão para esta cultura.

O resultado final deste processo de aptidão e legenda no Mapa de Aptidão foi:

- a) P – Preferencial, com aptidão ótima.
- b) R – Regular com ligeiras restrições do recurso solo.
- c) M – Marginal com fortes restrições do recurso solo
- d) I – Inapta, sem aptidão.

Fase 2 - Aptidão climática - análise do risco climático

Na elaboração do Zoneamento Agroecológico para a cana-de-açúcar foram utilizadas avaliações da aptidão climática e mais recentemente estudos probabilísticos, baseados em séries climáticas históricas sobre os riscos climáticos por municípios brasileiros, definindo, em função do ciclo e dos requerimentos de água para a cultura, as melhores áreas e épocas para o plantio. Este instrumento é hoje parte da política agrícola do MAPA, em relação ao crédito de custeio e seguro agrícola. Portanto o zoneamento agrícola fornece o potencial de terras aptas ao plantio da cultura, que se conjugado às áreas atualmente sob plantio, fornece o potencial de expansão da cultura por regiões de interesse.

Foram indicadas as áreas de alto e baixo risco à cultura da cana-de-açúcar para as condições climáticas do Brasil. De acordo com a literatura disponível, foram selecionadas quatro variáveis para a delimitação das áreas: temperatura média do ar, deficiência hídrica anual, índice de satisfação das necessidades de água e o risco de geada.

Temperatura média do ar

O desenvolvimento de qualquer cultura agrícola está intimamente relacionado à temperatura do ambiente. Para a cultura da cana-de-açúcar os dados da pesquisa apontam um ritmo de crescimento mais lento sempre que a temperatura do ar estiver abaixo dos 25°C, e uma taxa de crescimento máximo quando os valores estão entre os 30°C e 34°C, tornando-se novamente reduzido frente a valores maiores que 35°C. Destaca-se um crescimento praticamente nulo da cultura quando a temperatura do ar superar os 38°C. Alguns

pesquisadores consideram ainda que o crescimento da cana-de-açúcar estaciona ou torna-se praticamente nulo quando a temperatura do ar é inferior a valores que ficam entre os 18°C e 21°C, dependendo das demais condições, principalmente a hídrica (FAUCONIER, 1975; BARBIERI et al., 1979).

Quanto à germinação da cana-de-açúcar, a temperatura ótima está em torno dos 32°C, considerando o limite de 21°C como a temperatura base para essa fase. Para completar a fase de maturação, em regiões com ausência de estação seca definida nesse momento, como é o caso da maior parte da região sul do país, é necessário, para que se tenha um maior acúmulo de sacarose e, conseqüentemente, alto rendimento de açúcar e álcool, que a temperatura média diária seja inferior a 21°C, a fim de proporcionar um repouso vegetativo da cultura.

De acordo com esse conjunto de informações, foram adotadas as seguintes classes de temperatura média anual em relação à aptidão à cana-de-açúcar:

- a) Temperatura média anual < 18°C - restrição acentuada e de alto risco à cultura da cana-de-açúcar para indústria;
- b) Temperatura média anual de 18°C a 20°C – restrição parcial por carência térmica;
- c) Temperatura média anual > 20°C – ideal, ótimo ao crescimento da cana-de-açúcar;
- d) Temperatura média anual < 14°C – limite abaixo do qual a cana-de-açúcar se torna inviável por carência térmica severa.

Deficiência hídrica anual

A distribuição anual das chuvas é muito importante, almejando sempre uma maior abundância nos meses que coincidam com o período de crescimento vegetativo do cultivo da cana-de-açúcar. Contrariamente, durante os meses de maturação da cultura o ideal é a presença de uma estação seca, favorecendo o acúmulo de sacarose no colmo, a trafegabilidade das máquinas e a colheita.

De acordo com todas as informações fornecidas por ALFONSI et al. (1987) foram adotadas as seguintes classes de deficiência hídrica anual em relação à aptidão à cana-de-açúcar:

- a) 0 mm – Ausência de estação seca, dificultando maturação e colheita;
- b) 0 mm < Def < 200 mm – Condição hídrica ideal a cultura da cana-de-açúcar;
- c) 200 mm < Def < 300 mm – Deficiência hídrica sazonal – recomendado irrigação hídrica suplementar ou de salvamento;
- d) Def > 400 mm – Carência hídrica excessiva, limite acima do qual se torna inviável a cultura da cana-de-açúcar sem irrigação intensiva.

Índice de satisfação das necessidades de água (ISNA)

O índice de satisfação das necessidades hídricas, calculado para uma série histórica de dados de chuva, de pelo menos 15 anos, representa a relação entre a evapotranspiração real (ET_r) e a evapotranspiração máxima (ET_m) da cultura, para cada uma das fases de desenvolvimento da mesma.

Essa relação leva em consideração que a interação “disponibilidade hídrica x período crítico de desenvolvimento” é determinante na expressão do rendimento econômico da cultura.

Para estimar a evapotranspiração máxima da cultura, adotam-se os coeficientes de cultura (kc), corrigindo os valores de evapotranspiração potencial ou de referência (ET_o). A Tabela 1 apresenta valores de kc da cana-de-açúcar para os diferentes períodos de crescimento.

Tabela 1. Valores de coeficiente de cultura (kc) das respectivas fases de desenvolvimento da cana-de-açúcar.

Períodos de desenvolvimento	Dias após emergência	Coefficiente kc*
Do plantio até 0,75 de cobertura	0 - 60	0,60
Máximo uso de água	60-210	1,05 - 1,30
Início da senescência	210-270	0,80 - 1,05
Maturação	270-360	0,60 - 0,75

Fonte: Doorenbos e Kassam (1994).

Para executar a delimitação das áreas aptas e de baixo risco climático, exige-se um ISNA mínimo de 0,6, ou seja, que a exigência hídrica máxima seja atendida em pelo menos 60% durante um período mínimo de 150 dias, coincidentes com a fase de máxima utilização de água pela cultura (Tabela 1).

Essa condição hídrica deve ser atendida em pelo menos 80% dos anos da série mínima de 15 anos de dados diários de chuva. A definição do critério de $ISNA > 0,6$ para classificar áreas como de baixo risco foi feita tendo como base a seleção de áreas que apresentem produtividade mínima de 60 t ha^{-1} . Foram adotadas as seguintes classes de índice de satisfação das necessidades de água em relação ao risco climático à cana-de-açúcar:

- a) $ISNA < 0,5$ – alto risco;
- b) $0,5 < ISNA < 0,6$ – risco intermediário;
- c) $ISNA > 0,6$ – baixo risco.

Risco de Geadas

A cultura da cana-de-açúcar é susceptível a baixas temperaturas, destacando que temperaturas inferiores aos 18°C praticamente já paralisam o crescimento das plantas. Os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, além de algumas áreas da região Sudeste são sujeitos à ocorrência de geadas esporádicas, sendo necessário a adoção de medidas preventivas adequadas para minimizar o efeito desse evento climático. Áreas onde as geadas são mais frequentes acabam tornando a exploração canavieira economicamente inviável.

As partes jovens e menos protegidas da cana-de-açúcar tal como folhas jovens, gemas apicais e gemas laterais jovens se congelam em temperatura inferior a 0°C . Os danos causados dependem tanto da temperatura mínima atingida quanto da duração de tempo desse valor, variando de acordo com a variedade e o estado de cultivo. De forma geral, pode-se afirmar que a gema apical morre a uma temperatura superior as temperaturas exigidas para a morte das gemas laterais. A morte da gema apical ocorre quando a temperatura atinge níveis entre -1°C a $-3,3^{\circ}\text{C}$, enquanto que as laterais morrem em torno de -6°C , sendo que às temperaturas letais às folhas da cana-de-açúcar estão em torno de $-2,5^{\circ}\text{C}$ a -5°C .

Relacionando a ocorrência de geadas com valores de temperatura mínima registradas em abrigo meteorológico, pesquisadores observaram que há um gradiente de temperatura entre o abrigo, situado a 1,5m acima da superfície, e a relva, da ordem de 3 a

4°C, aproximadamente. Assim, quando se registra temperatura mínima no abrigo em torno dos 2°C, no nível da relva os valores aproximam-se de -1°C, capaz de causar danos à cana-de-açúcar, tendo em vista que não é necessário haver o congelamento da água para que haja dano às partes vegetais.

Para delimitar as áreas com risco de geada foram analisadas séries de dados diários de temperatura mínima do ar, de no mínimo 15 anos ininterruptos. Considerou-se que tenha ocorrido geada, em nível de superfície do solo, quando a temperatura mínima de abrigo foi inferior a 2°C. Utilizando metodologia desenvolvida por Wrege et al. (2005), desenvolveu-se um algoritmo para análise da série de dados de cada estação e, sempre que a temperatura de um dia ficou abaixo dos 2°C, associou-se o valor “1” ao evento “ocorrência de geada” e, caso contrário, foi atribuído o valor “0”. Em seguida, foram calculadas as probabilidades de ocorrer, pelo menos uma geada por decêndio, movendo-se uma janela de dez dias ao longo da série de dados com passo diário (dias 1-10 julho, 2-11 julho, 3-12 julho, e outros) em todo o ano. Analisando-se estes dados, se dentro de um dado decêndio houvesse ocorrido uma ou mais geadas, aquele decêndio era computado com valor “1”, independente do número de vezes que a mesma houvesse ocorrido. Não havendo nenhuma ocorrência no decêndio, era computado o valor “0”. Com base nas seqüências de “0” e “1” de toda a série de dados de cada estação, calculou-se a frequência de geadas ao longo do ano para cada estação, conforme equação 01.

$$fg = (n / 10) \times 100 \quad (1)$$

Onde:

n é o número de dias em que ocorreu geada (temperatura mínima < 2°C), em dez dias (valor entre 0 e 10) e fg a frequência de geadas.

Foi necessário estimar valores de risco de geada para outros pontos, através da correlação com coordenadas geográficas. Os valores de frequência de geadas por estação foram correlacionados aos valores de latitude, longitude e a altitude, ajustando-se quatro equações de regressão linear múltipla, uma para cada mês, sendo junho, julho, agosto e setembro. As equações foram aplicadas em um sistema de informação geográfica, formando um plano de informação contendo

uma grade regular de valores estimados, com espaçamento entre os pontos de 90 metros, com informações de risco de geada.

Classificação da aptidão climática

A avaliação do risco climático para o cultivo da cana-de-açúcar foi sistematizada em cinco categorias e espacializada para cada Estado da Federação, conforme se segue:

- a) Baixo Risco – sem limitação para o cultivo - A - área indicada;
- b) Baixo Risco – irrigação de salvamento necessária - B - área indicada;
- c) Carência térmica ou alto risco de geada - C - área não indicada;
- d) Irrigação intensiva imprescindível - D - área não indicada;
- e) Excesso de água com prejuízo para a maturação e colheita - E - área não indicada.

O resultado espacial foi um mapa mostrando a Aptidão Climática de cada área em estudo o qual mostra os polígonos com uma das categorias anteriormente expostas e que permite a delimitação espacial das áreas homogêneas climaticamente para a cana-de-açúcar.

Fase 3 - Máscara (determinação da área real de estudo)

Nesta fase foram determinadas as áreas propriamente ditas que atenderam aos requerimentos das Diretrizes do Zoneamento para todo o território brasileiro, com exceção de:

- Amazônia Legal, Bioma Pantanal e Bacia do Alto Paraguai – Devido a uma decisão governamental que vai ao encontro da política de não expandir esta cultura nestes territórios.
- Áreas Protegidas por Lei (Unidades de Conservação, Terras Indígenas e outras).
- Áreas atualmente com uso agrícola – Para tal foram empregados os resultados do Projeto PROBIO que mapeou o uso das terras como Áreas Agrícolas, Áreas Agropecuárias e Pastagens. Para o zoneamento somente foram as duas ultimas. As Áreas Agrícolas foram excluídas para cumprir com a diretriz do zoneamento não competir com a produção de alimentos.
- Áreas com declividade maior de 12 % - Propiciando produção

ambientalmente adequada com colheita mecânica evitando desta maneira as queimadas, pois permite o emprego da tecnologia para alterar a prática deste tipo de produção.

As áreas que não foram excluídas formaram uma máscara, na qual foi realizada a integração temática dos mapeamentos da Aptidão das Terras e Aptidão Climática, cujos resultados permitem determinar as áreas com potencial agrícola para o cultivo da cana-de-açúcar sem restrições ambientais e seguindo as Diretrizes do Zoneamento.

Fase 4 - Integração temática e mapeamento

Os resultados das Fases 6 e 7, são mapas que podem ser integrados aplicando operações espaciais que estão disponíveis nos programas dos Sistemas de Informação Geográfica. No entanto, pela dimensão do trabalho que é o Zoneamento Agrícola em todo o território brasileiro, precisou-se sistematizar e automatizar as tarefas e para tal empregou-se uma base de conhecimento.

A base de conhecimento desenhada para o ZAE-Cana é apresentada de forma hierarquizada na Figura 6. Foi utilizado o conceito “Data link”, que corresponde ao campo da base de dados que representa o elemento.

A Figura 7 apresenta a parte da rede de dependência que corresponde à avaliação da aptidão pedoclimática (ou edafoclimática) que reproduz a integração desenvolvida na Tabela 2.

De acordo com Figura 3, a base lerá o campo CLIMATICA do mapa do risco climático e retornará para cada um dos valores lidos no campo: A=1; B=0,5; C=-0,5; D=-0,75 e E=-1 e, para o campo EDAFICA do mapa de aptidão edáfica: IN=-1; AGUA=-1; AREAURBANA=-1; M=0; R=0,5 e P=1.

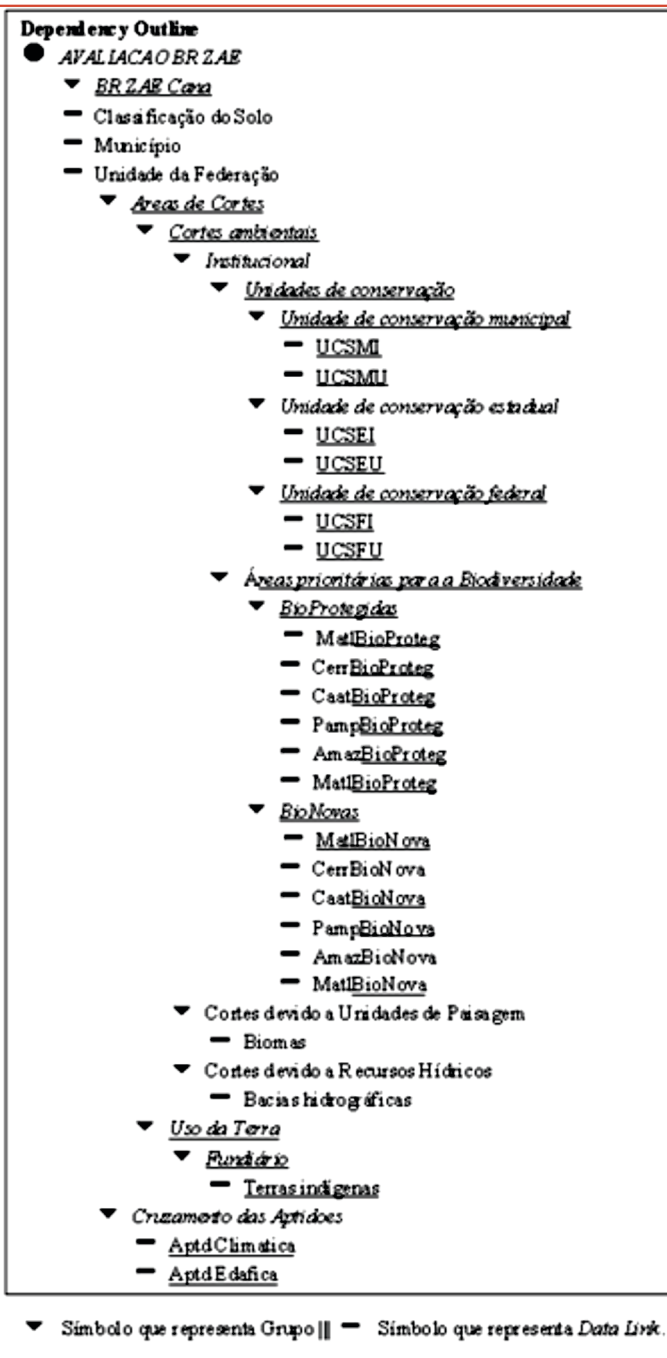


Figura 6. Hierarquia da base de conhecimento do Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar.

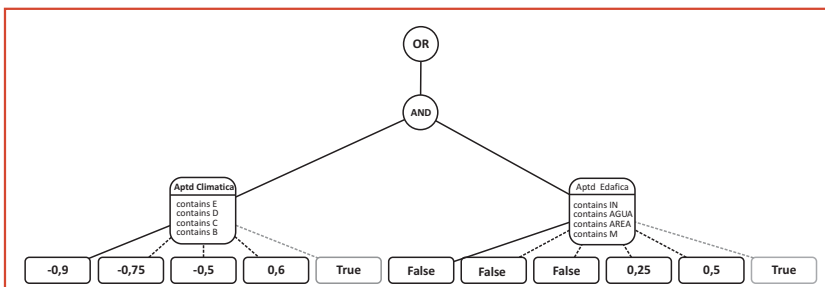


Figura 7. Base de conhecimento para avaliação da aptidão pedoclimática.

O operador AND calcula os valores dos *data links* nele pendurados segundo a equação:

$SE_{mín}(t) = -1$, então $t = -1$, caso essa condição não seja satisfeita, ou seja, $SE_{mín}(t) > -1$, então o sistema irá considerar $t = mín(t) + [média(t) - mín(t)] \times [mín(t) + 1] / 2$. Dessa forma, a base desenhada retornará valores que permitem gerar um mapa com uma legenda que classifique a Aptidão Pedoclimática de acordo com os dados de entrada.

Tabela 2. Classificação da Aptidão considerando-se a integração entre a aptidão edáfica e a aptidão climática para a cana-de-açúcar.

Aptidão Edáfica	Pesos	Risco Climático				
		A	B	C	D	E
		1,00	0,60	-0,50	-0,75	-1,00
P	1,00	P	R	IC	ID	IE
R	0,50	R	R	IC	ID	IE
M	0,25	MS	ISC	IC	ID	IE
I	-1,00	IS	IS	ICIS	ICIS	ICIS

Legenda: Aptidão Edáfica: P - alta; R - média; M - Baixa; I - inapta.

Integração: P - Áreas com aptidão agrícola preferencial; R - Áreas com aptidão agrícola regular; MS - Áreas com aptidão agrícola marginal por solo; ISC - Áreas inaptas pela integração entre solo e clima; IC - Áreas inaptas por clima, Carência térmica ou alto risco de geada; ID - Áreas inaptas por clima, Irrigação intensiva imprescindível; IE - Áreas inaptas por clima, Excesso de água com prejuízo para a maturação e colheita; IS - Áreas inaptas por solo; ICIS - Áreas inaptas por clima e por solo.

Após a avaliação com o uso do EMDS excluiu-se, com as ferramentas tradicionais do ArcGIS as áreas com plantio de cana-de-açúcar em 2007/2008, as áreas com declividade acima de 12% integrou-se com os mapas de uso do solo, e calculando as áreas aptas por município.

Resultados, impactos e destaques do ZAE-Cana

Nossas estimativas demonstraram que o país dispõe de cerca de 64 milhões de ha de áreas aptas à expansão do cultivo de cana-de-açúcar, sendo que destas, as áreas aptas cultivadas com pastagens em 2002, representam cerca de 37 milhões de ha. Estas estimativas demonstram que o país dispõe de áreas suficientes para atender às demandas futuras por açúcar e álcool, não necessitando incorporar áreas novas e com cobertura nativa ao processo produtivo. Indicam ainda, que é possível expandir a área de cultivo com cana-de-açúcar sem afetar diretamente as terras utilizadas para a produção de alimentos. Com isso fica claro que não há necessidade de competição de produção de biocombustível com agricultura, não há incentivo à produção de cana de açúcar na Amazônia, Pantanal e na Bacia do Alto Paraguai, e que para atender à demanda, a produção de etanol irá privilegiar a agricultura de sequeiro, sendo a irrigação somente complementar.

Neste cenário, não se considerou ainda um ganho extra de produtividade, através do etanol de segunda geração. Hoje o Brasil aproveita apenas um terço da cana-de-açúcar, ou seja, a sacarose para produzir álcool. Os dois terços remanescentes são o bagaço, que é queimado de forma pouco eficiente para gerar energia para a planta de álcool, e a palha, o último terço, que na sua maior parte, ainda é queimada no campo para facilitar a colheita. Com a determinação do zoneamento de mecanização da colheita da cana-de-açúcar, será possível não queimar a palha e transportar uma parte para a usina e outra, a ser definida pela pesquisa, deverá ficar para proteger e reciclar nutrientes no solo. Portanto, o excedente, bagaço mais a palha, é material lignocelulósico que através do processo de hidrólise poderá ser transformado em álcool, diminuindo a demanda de terras para o aumento da produção de etanol e açúcar.

Além dos processos de hidrólise, existe ainda duas outras formas de aumentar a produção, sem necessariamente aumentar a área plantada. A primeira é por meio do melhoramento genético, permitindo variedades mais produtivas, o que possibilitará um aumento da produtividade agrícola e da concentração de açúcar na cana-de-açúcar, como por exemplo as variedades transgênicas que já estão sendo desenvolvidas no país. A segunda é a melhoria das técnicas de manejo,

envolvendo também a adequada escolha de variedades, apropriadas para cada tipo de solo e clima.

Entretanto, as estimativas de safras do IBGE e Conab, demonstram que, nos últimos anos o aumento na produção de etanol e açúcar no Brasil ocorreu pelo aumento da área plantada e não pelo uso de tecnologias, em parte decorrente da elevada demanda por investimentos em infra-estrutura que esta opção demanda. Ou seja, no momento ainda é mais vantajoso, economicamente para os empresários, o mecanismo da substituição ou mudança de uso da terra em regiões de grande disponibilidade de terras subutilizadas, especialmente com pecuária. Este é o desafio para a pesquisa: produtividade e sustentabilidade ambiental da produção canavieira no cenário das mudanças climáticas.

Quanto aos produtos finais gerados pelo ZAE-Cana e disponíveis para a sociedade são:

- Mapas das áreas aptas ao cultivo da cana-de-açúcar no território brasileiro, no nível de manejo tecnificado;
- Tabelas com estimativas de áreas aptas por município e por tipo de uso da terra;
- Acervo de mapas cadastrados e disponibilizados na internet (<http://mapoteca.cnps.embrapa.br>) nos formatos *shapefile* e pdf;
- Relatório Síntese para o Brasil e Estados brasileiros.

Seguindo esses resultados o estudo foi capaz de nortear algumas diretrizes que permitirão a expansão da produção da cana-de-açúcar, como: (a) a indicação de áreas com potencial agrícola para o cultivo da cana-de-açúcar sem restrições ambientais; (b) exclusão de áreas com vegetação original e indicação de áreas atualmente sob uso antrópico; (c) exclusão de áreas para cultivo em biomas considerados sensíveis; (d) diminuição da competição direta com áreas de produção de alimentos; (e) diminuição da competição com áreas de produção de alimentos; (f) indicação de áreas com potencial agrícola (solo e clima) para o cultivo da cana-de-açúcar em terras com declividade inferior a 12%, propiciando produção ambientalmente adequada com colheita mecânica. Vale comentar que para as unidades industriais já instaladas, a produção de cana-de-açúcar para seu suprimento e a expansão programada não foram objeto deste zoneamento.

Esse zoneamento é um instrumento para subsidiar a tomada de decisões ao nível federal e estadual, e a implantação de políticas públicas voltadas para o ordenamento da expansão do cultivo da cana-de-açúcar para fins industriais. No entanto, outros segmentos da sociedade podem ser apontados como potenciais beneficiados nos resultados deste estudo, a citar: instituições de pesquisa, ensino e tecnológicas; públicas ou privadas; relacionadas ao meio ambiente e a agricultura; organizações não governamentais; órgãos de planejamento e desenvolvimento públicos das esferas federais, estaduais e municipais; assessorias parlamentares, Ministério Público, organizações internacionais, dentre outros.

Desta forma, a implementação do projeto enseja promover, de forma diferenciada, impactos relevantes nos Estados brasileiros nos âmbitos sócio-econômicos e ambiental. Sob o aspecto ambiental espera-se que o ordenamento da produção de cana-de-açúcar possa evitar a expansão em área com cobertura vegetal nativa; que a produção de biocombustíveis seja sustentável e ecologicamente limpa; que a cogeração de energia elétrica diminua a dependência de combustíveis fósseis, gerando ainda créditos de carbono e que a incorporação de técnicas conservacionistas possa diminuir a erosão dos solos cultivados.

Sob a dimensão humana, se acredita que a produção da cana-de-açúcar para etanol permitirá: a) emprego de energias limpas com o aproveitamento de créditos de carbono e outros mecanismo nacionais e internacionais que permitam atrair investimentos nas regiões destes empreendimentos; b) Aumento da ocupação permanente da mão-de-obra local, com a substituição da colheita manual pela mecânica; c) Organização dos fornecedores de cana em cooperativas; d) a Indução tecnológica na produção e colheita de cana-de-açúcar; e) a qualificação dos trabalhadores do setor face à tecnificação progressiva do cultivo, significando investimentos públicos e privados em educação e treinamentos especializados e f) Investimentos em complexos agroindustriais, demandando ainda outros investimentos em infraestrutura local como logística, transporte, energia e suporte técnico.

O ZAE-Cana é uma iniciativa governamental inédita no ordenamento da expansão de atividades agrícolas no território

nacional que envolveu equipes técnicas de diferentes Ministérios numa sinergia de políticas agrícola e ambiental sem precedentes. A execução dos trabalhos por instituições do Consórcio ZEE Brasil, por meio de instituições públicas federais propiciaram economia de recursos financeiros e credibilidade junto à sociedade brasileira e internacional. Outros dois pontos que merecem ser mencionados são a articulação com os Estados da Federação na definição das áreas de expansão prioritárias, contemplando as especificidades e agendas regionais e a implantação do Zoneamento utilizando mecanismos de indução e controle, através da definição de marcos regulatórios, mecanismos de fomento e negociação com a sociedade.

Considerações finais

Ao longo deste processo de construção do ZAE-Cana confirmou-se a necessidade dos ajustes no modelo de integração a cada realidade, ou seja, da consideração dos fatores locais. Nas análises preliminares adotaram-se parâmetros conservadores para, posteriormente, serem adequados à realidade local e gerar a análise final. Atitude imprescindível, principalmente em um país com dimensões continentais como o Brasil.

Contudo, os fatores que dispensaram maior demanda de energia não foram os ajustes da metodologia de integração à realidade local. Os fatores que demandaram maior energia foram os provenientes da necessidade de gerar subsídio às decisões políticas, que definem os critérios a serem adotados na avaliação a ser elaborada, os retrabalhos por mudança dos critérios inicialmente estabelecidos e a preparação de uma base de dados flexível à variação de critérios no processo de negociação com o setor produtivo e governo.

Dessa forma, identificados e aplicados os ajustes necessários à calibração do modelo e superadas as dificuldades inerentes ao processo de decisão, apresentou-se neste texto a quantificação das áreas aptas à extensão da cana-de-açúcar, segundo os critérios adotados até a presente data, que é a base para o desenvolvimento e a distribuição de diversos produtos provenientes da continuidade dos trabalhos.

A partir dos produtos a serem consolidados no processo do Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar é possível desenvolver,

por exemplo, a análise da expansão futura da produção de cana-de-açúcar com fins industriais, seus impactos no território, mudanças de uso da terra e a efetividade de políticas de indução no ordenamento territorial.

Estas estimativas demonstram que o país dispõe de áreas suficientes para atender as demandas futuras por açúcar e álcool, não necessitando incorporar áreas novas e com cobertura nativa ao processo produtivo, podendo ainda expandir a área de cultivo com cana-de-açúcar sem afetar diretamente as terras utilizadas para a produção de alimentos. Isto sem contar com um ganho de produtividade, por meio do etanol de segunda geração. Com isso, fica claro, como já mencionado neste capítulo, que não há competição de produção de bicomcombustível com agricultura, não há incentivo à produção de cana-de-açúcar na Amazônia, Pantanal e na Bacia do Alto Paraguai, e que para atender a demanda, a produção de etanol irá privilegiar a agricultura de sequeiro, sendo a irrigação somente complementar.

Referências bibliográficas

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3.ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995. 65p.

WREGGE, M.S.; CARAMORI, P.H.; GONÇALVES, A.C.A. Regiões potenciais para cultivo da cana-de-açúcar no Paraná, com base na análise do risco de geada. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. v.13, n.1, p.113-122, 2005.

*Maria Victoria Ramos Ballester
Reynaldo Luiz Victoria
Alex Vladimir Krusche*

Introdução

Os problemas ambientais estão crescendo em importância, a medida que a sociedade torna-se cada vez mais consciente da vulnerabilidade e riscos dos bens e serviços proporcionados pelos ecossistemas em função das mudanças globais. Preocupações com as fontes de energia, resultantes da demanda mundial crescente por óleo, com a concentração geográfica das reservas conhecidas de petróleo e o aumento dos custos para encontrar e colocar em produção novas reservas, associadas às mudanças climáticas, vêm aumentando (KOONIN, 2006). Em 2007, a publicação do quarto relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC*) chamou a atenção da sociedade para os problemas ambientais globais e seus agentes causadores. Desde a revolução industrial, como resultado das atividades humanas, as concentrações atmosféricas dos gases do efeito estufa (GEEs) aumentaram consideravelmente, ultrapassando, em muito, os valores observados no período pré-industrial (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007a). Conseqüentemente, o aquecimento do sistema climático hoje é considerado inequívoco, como pode ser evidenciado pelas observações do aumento na temperatura média do ar e do oceano, a expansão do derretimento das neves eternas e das calotas polares e o aumento do nível médio do mar (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007a).

Neste cenário, os biocombustíveis vêm sendo considerados uma alternativa para diminuir as emissões dos GEEs no setor de

transportes. Hoje, os biocombustíveis são utilizados como aditivos e substitutos da gasolina e do diesel. Projeta-se que em 2030 os biocombustíveis terão um crescimento tal que suprirão 3% da demanda de energia no setor de transportes, podendo atingir de 5 a 10% do consumo, dependendo dos preços futuros do óleo e do carvão no mercado internacional, bem como melhoras na eficiência dos veículos e o sucesso de tecnologias para utilizar a biomassa vegetal (IPCC, 2007b). Muitas nações, dentre as quais os Estados Unidos, a Comunidade Européia e a Índia, projetam que cerca de 5% do transporte rodoviário será abastecido com combustível bioderivado nos próximos 5 anos (KONIN, 2006). Uma estimativa recente sugere que, em 2030, cerca de 750 milhões de toneladas de carbono emitidos pela queima de combustíveis fósseis poderão ser reduzidas, anualmente, pelo uso de biocombustíveis.

O aumento na demanda de agroenergia tem gerado vários questionamentos em relação à sustentabilidade, abundância e benefícios ambientais desta fonte de energia (TIELMAN et al., 2006). Apesar dos biocombustíveis serem uma fonte de energia com baixo potencial de liberar carbono para a atmosfera (RIGHELATO; SPRACKLEN, 2008), a contribuição do mesmo depende da forma de produção. Por exemplo, a conversão da cobertura vegetal nativa em regiões tropicais da América do Sul e do Sudeste da Ásia pode originar um débito de carbono, devido à liberação de 17 a 420 vezes mais CO_2 do que a queima anual de combustíveis fósseis substituídos (FARGIONE et al., 2008; LAPOLA et al., 2010; MELILLO et al., 2010; SCHARLEMANN; LAURANCE, 2010). Outras mudanças ambientais que podem resultar da expansão da produção de biocombustíveis incluem o aumento da poluição por fertilizantes e pesticidas, ameaçando a biodiversidade local e regional (TIELMAN et al., 2006), quando terras com vegetação nativa ou utilizadas para a produção de alimentos são convertidas em monoculturas para gerar energia. Por exemplo, culturas como o milho e o sorgo, que requerem a adição de fertilizantes nitrogenados, podem se tornar uma fonte significativa de óxido nitroso para a atmosfera, outro gás importante do efeito estufa (CRUTZEN et al., 2007). Alterações significativas nas demandas por fósforo e na sua ciclagem poderão resultar da expansão das culturas de cana-de-açúcar e soja em áreas de pastagens, uma vez que as mesmas requerem de 8 a 22 vezes mais

fósforo, respectivamente, para seu cultivo. Portanto, existe uma grande preocupação que o aumento massivo na produção de biocombustíveis poderá resultar na conversão de áreas com vegetação nativa (REAY, 2007) e terras férteis utilizadas hoje para a produção de alimentos. Neste caso, os impactos potenciais da expansão da agroenergia sobre os preços internacionais de alimentos e as consequências para os mercados e grupos sociais locais, regionais e global são ainda pouco conhecidos (FISHER et al., 2009).

Uma das classes de biomassa majoritariamente utilizadas para a produção de biocombustíveis hoje, é aquela derivada de culturas anuais, entre as quais se destacam o milho, a soja e a cana-de-açúcar. No Brasil, um quarto do transporte rodoviário é sustentado pelo uso de etanol combustível obtido da fermentação da cana-de-açúcar (SOMERVILLE, 2006). Desde 2005, apenas no Brasil, a produção deste combustível (etanol) vem aumentando a uma taxa de 7 a 8 % ao ano (IBGE, 2007), enquanto a produção de soja cresceu 8% ao ano. Essa expansão vem induzindo mudanças na cobertura e uso do solo significativas no país. Por exemplo, na região sudeste, a área coberta por cana-de-açúcar aumentou 120.000 ha ano⁻¹ entre 2001 e 2005 (IBGE, 2007). O Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) do Governo Federal brasileiro, prevê o investimento de 10 milhões de dólares na implantação de infraestrutura para a indústria de biocombustíveis. Destes, mais de 90% serão aplicados em obras nas regiões sudeste, sul e centro-oeste, nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Goiás (<http://www.brasil.gov.br/pac>). As áreas potenciais para a expansão da agroenergia (EMBRAPA, 2006) ocupam cerca de 50% do território nacional. Nestas áreas, até 2007, 365 unidades processadoras de álcool e açúcar tinham sido instaladas. Desse total, 68% estão na região sudeste/sul, 23% na nordeste/norte e 10% no centro-oeste. Outras 147 usinas estão previstas para serem implantadas até 2011, devendo totalizar 512 unidades até 2011. As metas do PAC na área de combustíveis renováveis até 2010 incluem a produção de 3,3 bilhões de litros por ano de biodiesel e a implantação de 46 novas usinas, 23,3 bilhões de litros por ano de etanol e a implantação de 77 novas usinas, além da construção de 1.150 km de dutos para o escoamento desta produção (<http://www.brasil.gov.br/pac>).

As principais preocupações com a expansão da agroenergia

têm sido direcionadas para aspectos de segurança alimentar. Em várias regiões do mundo, principalmente na América do Norte, são previstas mudanças significativas na cobertura e uso do solo como resultado do aumento da produção de biocombustíveis (milho, soja e cana-de-açúcar). Contudo, menor atenção tem sido dada às possíveis mudanças nos bens e serviços dos ecossistemas e às consequências para os recursos hídricos (qualidade e quantidade de água doce) e para o solo.

A demanda crescente por água doce, resultante do aumento populacional, demandas por alimentos, industrialização e urbanização, resultou em uma crise na disponibilidade deste recurso sem precedentes (UNITED NATIONS, 2003; UNESCO, 2006; VARGHESE, 2008). Parte desta crise é o resultado da distribuição geográfica, naturalmente desigual dos recursos hídricos. Em 2006, 1/3 da população mundial estava sujeita à falta de água doce, devido às disparidades de distribuição e às pressões mais elevadas na Europa, África e Ásia. Por exemplo, China, Índia, Japão e Oriente Médio sustentam mais da metade da população mundial com apenas 36% dos recursos de água doce do planeta (UNESCO, 2006). No século XX, as políticas públicas de uso da água na maioria dos países estiveram orientadas, principalmente, para a construção de infraestrutura como represas, aquedutos, malhas de distribuição e centrais de tratamento. O objetivo era suprir as demandas humanas. Esta política resultou em benefícios para a população como saúde, água potável, qualidade de vida, alimentos. Porém, os custos econômicos, sociais e ecológicos muitas vezes foram indesejados ou elevados (UNESCO, 2006). Em 2000, 20% da população mundial não tinha acesso a um suprimento de água potável, 65% tinham suprimento de baixo a moderado e apenas 15% tinham abundância relativa (UNITED NATIONS, 2003).

A água doce é considerada o recurso que será o mais estratégico no final da próxima década e terá papel chave no desenvolvimento econômico das nações (VARGHESE, 2008). Contudo, na formulação e implementação das estratégias e políticas públicas de desenvolvimento da agroenergia, este recurso é pouco ou sequer levado em consideração. No Brasil, as estratégias atuais de incentivos de expansão da agroenergia poderão agravar esta crise em algumas regiões e o acesso à água poderá se tornar um fator primordial na produção de biocombustíveis. Portanto, neste trabalho serão abordadas três

questões relacionadas com as mudanças potenciais na água e no solos em função da expansão da agroenergia: 1 - Como a água e o solo são utilizados para produzir os vários tipos de biocombustíveis em diferentes regiões?; 2 - Onde a disponibilidade de água poderá ser um fator limitante? e 3 - Quais são os possíveis, ou mais prováveis, efeitos na qualidade da água associados com a produção de biocombustíveis?

Possíveis impactos na estrutura e funcionamento dos ecossistemas

Uma série de estudos realizados na região amazônica nos últimos 20 anos tem demonstrado mudanças quantitativas significativas no ciclo da água quando a vegetação nativa é substituída por culturas anuais. Por exemplo, em Rondônia, áreas com pastagem apresentaram um volume de chuvas cerca de 7% menor que as de floresta, resultando em um decréscimo de 31% na interceptação e 19% na evapotranspiração. Simultaneamente, o escoamento total aumentou em 18%, enquanto o superficial foi 327% maior (GASH et al., 1998). As queimadas intensas que ocorrem anualmente nesta região, gerando grande quantidade de fumaça, reduzem o tamanho das gotas de água e modificam os padrões de precipitação local e regional (ANDREA et al., 2004). Na escala da bacia de drenagem, a substituição da floresta por pastagem resulta em uma alteração nos diversos compartimentos e fluxos do ciclo da água na região (VICTORIA et al., 2007; SANTIAGO, 2006).

Na bacia de drenagem do rio Ji-Paraná (RO), os setores com uma maior cobertura de pasto apresentam menores valores de evapotranspiração e precipitação. Como pode ser observado na Figura 1, a conversão em pastagem resulta em uma redução da quantidade de água disponível para a evapotranspiração (VICTORIA et al., 2007) e na interceptação pela vegetação, aumentando o escoamento superficial. Solos cobertos por pastos, apresentam infiltração menor e escoamento superficial maior que aqueles cobertos por floresta, o que resulta em uma diminuição de mais de 60% nos valores da evapotranspiração média diária. No caso da substituição pela cultura de soja, esses valores são ainda maiores. Neste cenário, a evapotranspiração média diária seria 77% menor que nas áreas com

cobertura florestal e a vazão do rio aumentaria 28% durante o período chuvoso (SANTIAGO, 2006).

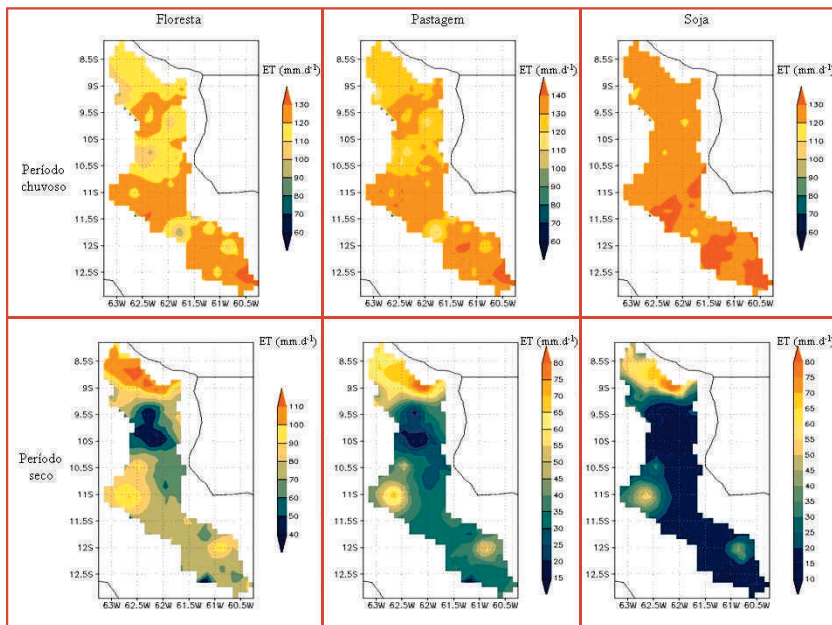


Figura 1. Mapas de evatranspiração média diária na bacia de drenagem no rio Ji-Paraná (RO) em três cenários de cobertura do solo: floresta, pastagem e soja.

Fonte: Santiago (2006).

A disponibilidade e o uso da água pelas culturas e a demanda por irrigação (nova ou re-alocada) é uma das principais preocupações relacionadas à expansão da agroenergia, já que em algumas regiões a produção da mesma deverá competir com outros usos. O Brasil detém 12% das reservas de água doce do planeta, 80% das quais estão localizadas na bacia de drenagem do rio Amazonas. Desse total, 1.568 m^3s^{-1} são retirados para diferentes fins, mas cerca de 840 m^3s^{-1} são efetivamente consumidos, não retornando às bacias hidrográficas. A maior parte desta água é utilizada na agropecuária (61%), no consumo humano (21%) e industrial (18%) (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2008).

A irrigação de culturas resulta em um consumo de água, ou seja a água que é perdida por evaporação não estará disponível para ser re-utilizada (VARGHESE, 2008). A demanda por água dependerá da cultura a ser introduzida e das condições regionais.

No Brasil, para produzir um litro de etanol são utilizados, em média, 1.100 litros de água (VARGHESE, 2008), a maior parte da qual derivada da precipitação. Em 2005, do total de água aplicada na irrigação de culturas no país, apenas 3,5% foi utilizado nas plantações de cana-de-açúcar (FRAITURE et al., 2007). Contudo, projeta-se que este valor deverá dobrar até 2030 devido à intensificação da produção em regiões com maiores limitações em termos de disponibilidade de água. Por exemplo, no Estado do Tocantins, onde estão previstos 14 pólos de produção de biodiesel, três dos quais já estão em funcionamento, a projeção até 2010 é de uma área plantada com cana-de-açúcar de 210 mil hectares, produzindo 16,8 milhões de toneladas de cana-de-açúcar e 1,4 milhões de m³ de álcool (SEAGRO, 2007). A expansão do cultivo, tanto sob condições climáticas normais, quanto sob o efeito do aquecimento global exigirá, de forma geral, a irrigação (VICTORIA et al., 2008). O zoneamento agroclimático do Estado do Tocantins demonstrou que 54% da sua área territorial apresenta alguma restrição para o plantio da cana-de-açúcar, devido à disponibilidade hídrica. Os restantes 46% são inaptos para o desenvolvimento da atividade (VICTORIA et al., 2007b) (Figura 2).

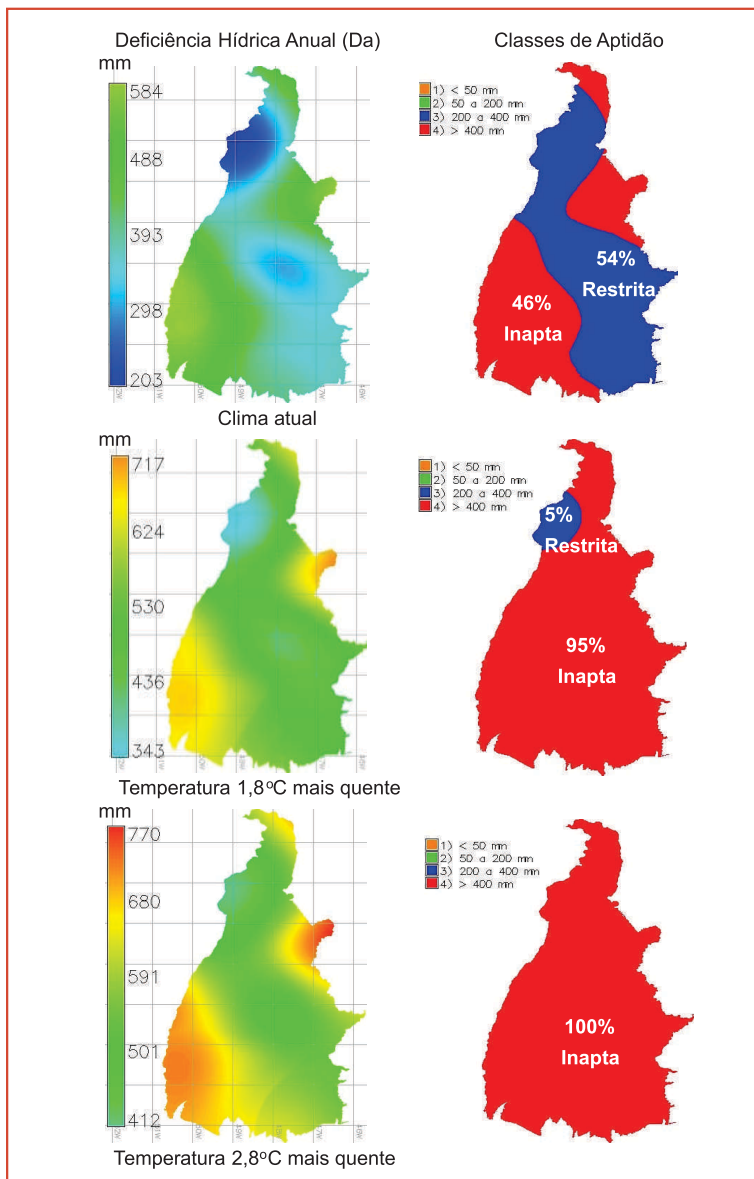


Figura 2. Zoneamento agroclimático do estado do Tocantins para o plantio de cana-de-açúcar.

Fonte: Victoria et al. (2008).

Entender a dinâmica e as consequências das mudanças na cobertura e uso do solo são hoje elementos chave para responder às questões relacionadas com as mudanças ambientais. Por exemplo, a retirada da floresta nativa pode resultar no aumento da temperatura, erosão e modificações no balanço hídrico e na disponibilidade de

nutrientes (NEILL et al., 2006; BALLESTER et al., 1999; BALLESTER et al., 2003; KRUSCHE et al., 2005). Outra consequência destes processos é a alteração do transporte de sedimentos, matéria orgânica e nutrientes associados aos rios (THOMAS et al., 2004, NEILL et al., 2006). Rios drenando pastagens exportam anualmente 20 vezes mais carbono orgânico dissolvido que os que drenam florestas, os quais retêm a maior parte do carbono orgânico dissolvido proveniente da precipitação interceptada pela vegetação (BALLESTER, 2008). Nas áreas de pastagem, as perdas líquidas de carbono para os ecossistemas fluviais somente não ocorrem no início da estação chuvosa. Rios que drenam florestas apresentam ausência de vegetação aquática no canal, elevados teores de oxigênio dissolvido, baixos teores de PO_4^{3-} devido à sorção por ferro e alumínio em solos e sedimentos e elevados teores de NO_3^- originados na bacia de drenagem. Fósforo e luz limitam o crescimento perfitônico. Em rios que drenam pastagens, a ausência da cobertura do dossel da floresta permite o crescimento extensivo de uma gramínea nativa, *Paspalum*, nas margens e até mesmo no interior dos canais. Como consequência, diminuem os teores de oxigênio dissolvido e aumenta a concentração de PO_4^{3-} devido à liberação de óxidos de ferro e alumínio nos sedimentos. Os teores de NO_3^- diminuem devido a um aporte menor da bacia, onde aumenta a desnitrificação. A produção primária passa a ser limitada pela disponibilidade de nitrogênio (NEILL et al., 2001; THOMAS et al., 2004). Essas alterações na composição biogeoquímica dos rios resultam ainda na diminuição significativa da diversidade de organismos aquáticos. Em um trecho de 800 m de rio na floresta foram encontradas 35 espécies de peixes. Na pastagem, em 500 m de canal somente uma espécie foi observada.

A introdução do pasto também afeta a composição química das água de rios de ordens maiores. Na bacia do Ji-Paraná (RO), um tributário do rio Madeira (Figura 3A), a área coberta por pastagens explicou a maior parte da variabilidade observada nas concentrações de PO_4^{3-} , nitrogênio inorgânico dissolvido (NID), carbono inorgânico dissolvido (CID) e carbono orgânico dissolvido (COD) (BALLESTER et al., 2003; KRUSCHE et al., 2005). Estes resultados indicam que, as mudanças observadas na micro-escala constituem sinais biogeoquímicos gerados pelo processamento do material nas zonas ripárias. À medida que os rios evoluem para ordens superiores, na

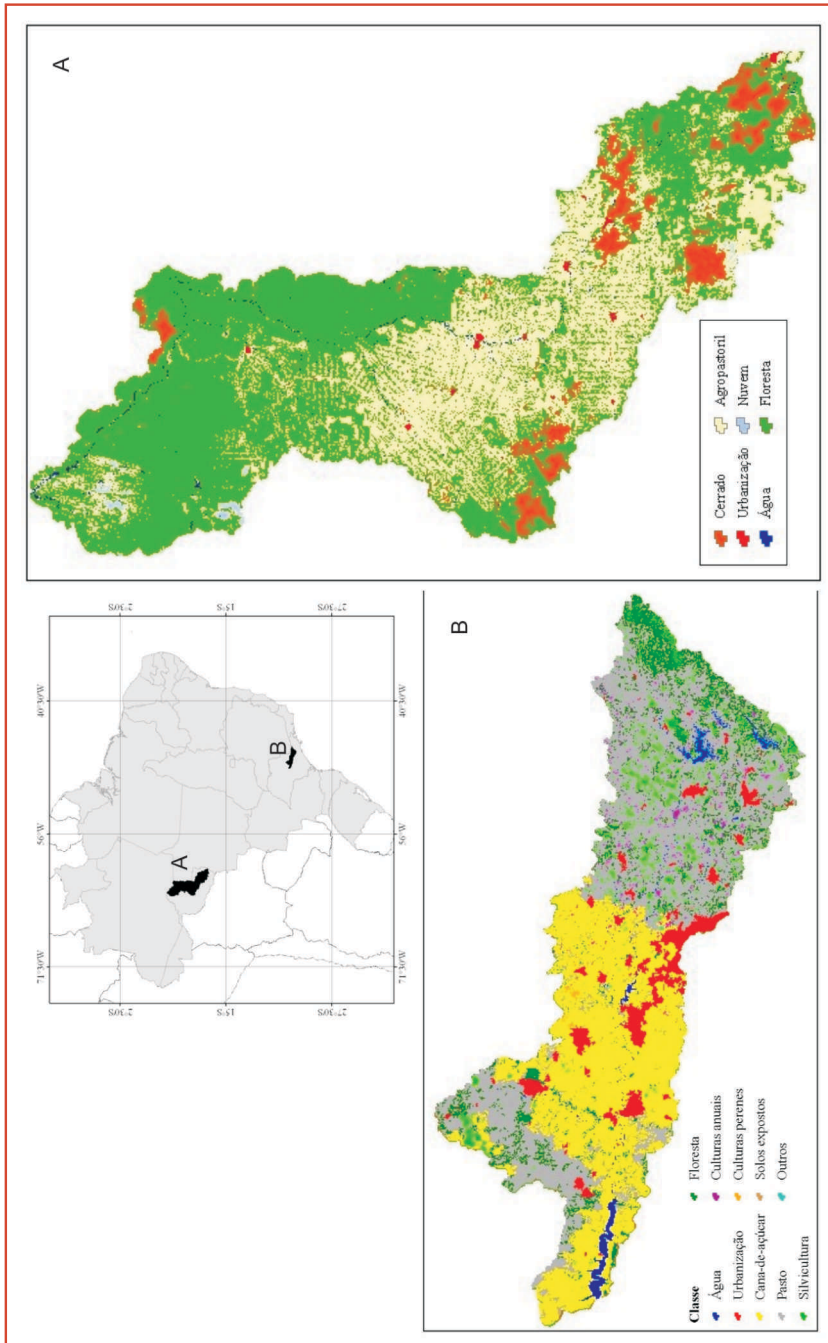


Figura 3. Mapas de cobertura e uso do solo das bacia de drenagem dos rios A) Ji-Paraná (RO) e B) Piracicaba (SP).

Alterações significativas podem ocorrer na ciclagem de nutrientes como carbono, nitrogênio e o fósforo devido à aplicação de fertilizantes e o tipo de cultura adotado. As principais alterações no ciclo do nitrogênio que poderão ocorrer se a vegetação nativa for substituída por milho, soja e cana-de-açúcar são apresentadas, esquematicamente, na Figura 4. Como pode ser observado, o aumento no aporte de N na forma de fertilizantes e/ou fixação biológica de nitrogênio no caso da soja, resultam em uma intensificação dos processos de nitrificação, desnitrificação e volatilização de amônia. Nestes solos, onde a penetração das raízes é menos profunda, há maior compactação e menor infiltração da água no perfil, aumentando o escoamento superficial o que promove a lixiviação. Em culturas de cana-de-açúcar, do total de N aplicado na forma de fertilizante, apenas 15% saem do ecossistema na forma de material coletado (fitobiomassa), sendo a volatilização o principal mecanismo de saída (40%), seguida pela desnitrificação (20%), pelo material particulado (15%) e pela lixiviação (10%) (TREVELIN et al., 2002).

Vários estudos têm demonstrado que, em plantações de cana-de-açúcar, a erosão do solo aumenta significativamente (CERRI et al., 2001), podendo atingir cerca de 30 toneladas por ano (VANGHESE, 2008). O uso de fertirrigação no Estado de São Paulo aumenta a acidez do solo e da água e promove a lixiviação de elementos como nitrogênio e potássio. Nos corpos de água, o aumento dos teores de nitrato lixiviado, associado ao aumento nos sedimentos em suspensão, resulta em um incremento da turbidez e diminuição dos teores de oxigênio dissolvido. Outra alteração no ciclo do nitrogênio, associado ao plantio de cana-de-açúcar que pode afetar solos e corpos de água, é o aumento da deposição de nitrogênio proveniente do material particulado liberado no processo de queima da mesma antes da colheita. Na bacia do rio Piracicaba, SP (Figura 3B), dominada pelo cultivo de cana-de-açúcar, a deposição úmida de nitrogênio atingiu um valor médio de $5,5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N (LARA et al., 2001), valor próximo ao observado em regiões com deposições muito elevadas como o nordeste dos Estados Unidos (GALOWAY et al., 2008). Como consequência, a capacidade de neutralização de ácidos pelos solos e corpos de água diminui, tornando estes ecossistemas mais suscetíveis à deposição ácida. Dos 12.400 km^2 drenados pelo rio Piracicaba, 62% apresentam susceptibilidade média a

alta à deposição atmosférica ácida (KRUSCHE et al., 2003).

O material orgânico particulado (MOP) em suspensão nos rios tem sido identificado como um componente importante do ecossistema fluvial por pelo menos três razões: a) uma quantidade apreciável do carbono é transportada na forma particulada (MEYBECK, 1982); o MOP é fonte de alimento para numerosos organismos e; c) conecta os trechos à montante e à jusante do rio (CUSHING et al. 1993). A quantidade de

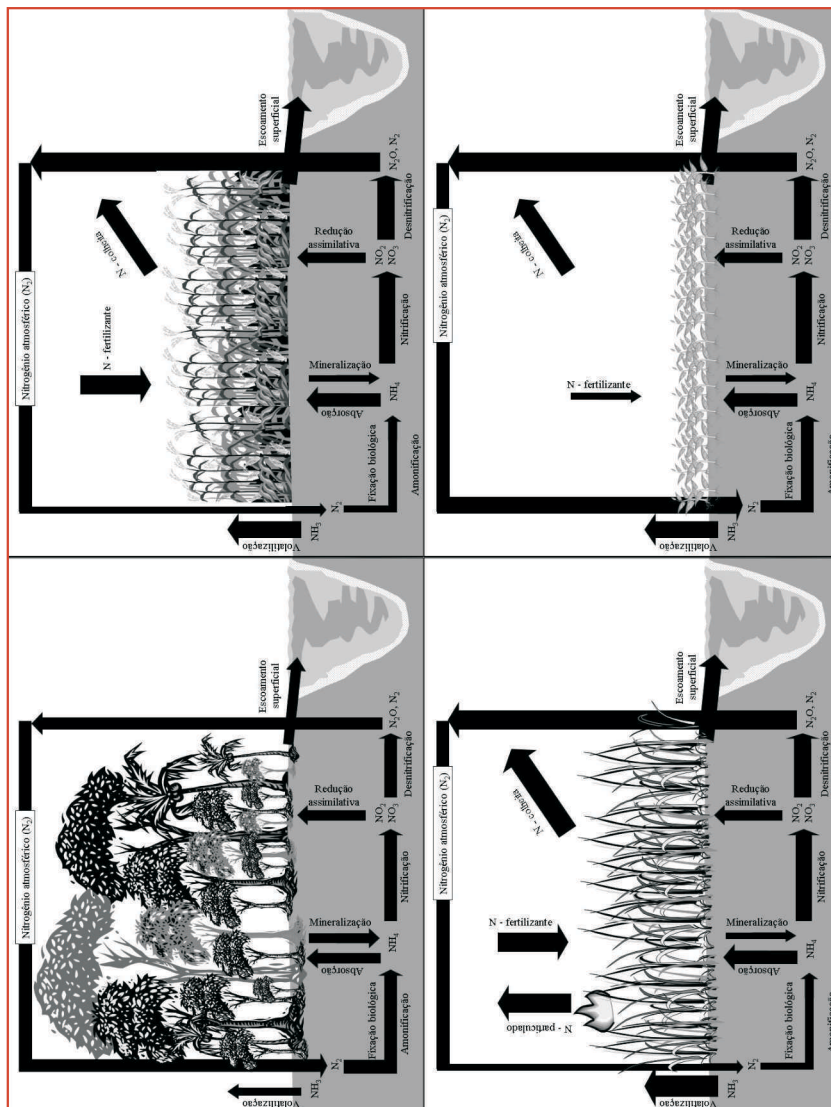


Figura 4. Representação esquemática do ciclo do nitrogênio em ecossistemas terrestres cobertos por floresta, milho, cana-de-açúcar e soja.

MOP também influencia a composição química das águas superficiais (SUNG, 1995) e integra os processos naturais e antrópicos nas bacias de drenagem (HEDGES et al. 1994). A comparação da composição isotópica do carbono orgânico fluvial da fração particulada ($\delta^{13}\text{C-MOP}$) com a da vegetação e dos solos da bacia de drenagem, permite identificar as fontes do carbono presente nos canais (HEDGES et al. 1986; QUAY et al. 1992; FRANCE-LANORD; DERRY, 1994). Isto é possível devido à grande diferença entre a composição isotópica do carbono em plantas C_3 e C_4 , o que permite reconhecer a contribuição relativa de cada tipo de vegetação para o material orgânico fluvial, particularmente em áreas nas quais a paisagem é coberta por uma mistura destas plantas. Nas regiões tropicais, rios que drenam áreas relativamente grandes, nas quais a vegetação do tipo C_3 está bem estabelecida na paisagem e o MOP teve tempo suficiente para adquirir o sinal isotópico da vegetação da bacia, as águas dos rios drenando bacias florestadas apresentam valores $\delta^{13}\text{C-MOP}$ semelhantes aos deste tipo de vegetação, variando entre -30 a -27 ‰. Rios que drenam cerrados (C_4) ou uma mistura de cerrados e florestas apresentam valores de $\delta^{13}\text{C-MOP}$ entre -28 e -19 ‰. Nas áreas em que a vegetação nativa foi substituída recentemente (~ 30 a 100 anos atrás) por plantas C_4 , como por exemplo a cana-de-açúcar ou pasto, a origem do carbono orgânico particulado é menos documentada e conhecida.

A bacia do rio Piracicaba (SP) é um exemplo das consequências potenciais na composição química da água dos sistemas fluviais como resultado da expansão do cultivo de cana-de-açúcar. Nos últimos 70 a 80 anos, como resultado dos vários ciclos econômicos à qual esta região esteve submetida, quase 95% da sua vegetação nativa foi substituída por café, laranja, pasto, cana-de-açúcar e silvicultura (pinus e eucalipto). Hoje, uma porção significativa da paisagem é coberta por plantas C_4 , abrangendo 76% da área da bacia, enquanto as plantas C_3 ocupam apenas 18% da mesma. Do total de vegetação do tipo C_4 , a cana-de-açúcar ocupa 32% da área e a pastagem 44% (BALLESTER et al., 2001). A composição isotópica do carbono do solo mostra claramente que o material C_4 proveniente da cana-de-açúcar já foi incorporado neste compartimento (BALLESTER et al., 2008). Apenas 12 anos de cultivo com cana-de-açúcar foram suficientes para modificar o $\delta^{13}\text{C}$ da matéria orgânica do solo de seu valor original de $-25,1$ para $-23,0$ ‰.

Após 50 anos de cultivo, este valor era $-20,2\text{‰}$, e cerca de 40% do carbono C_3 do solo proveniente da floresta tinha sido substituído por carbono C_4 (VITORELLO et al., 1989).

Na mesma bacia, entre 1999 e 2001, apesar da ampla faixa de valores observada na composição isotópica do $\delta^{13}\text{C}$ do carbono das frações fina, grossa e dissolvida, a área acumulada coberta por plantas C_4 explicou a maior parte da variabilidade obtida nos valores médio do $\delta^{13}\text{C}$, sendo esta relação estatisticamente significativa para todas elas (BALLESTER et al., 2008). Nas cabeceiras, onde existe uma mistura de plantas C_3 e C_4 , os valores médios do $\delta^{13}\text{C}$ de todas as frações foram estatisticamente semelhantes, $-25,7 \pm 1,32 \text{‰}$ ($n = 75$), $-25,8 \pm 1,23 \text{‰}$ ($n = 78$) e $-23,4 \pm 0,94 \text{‰}$ ($n = 32$) nas frações fina, grossa e dissolvida, respectivamente. Valores mais leves de $\delta^{13}\text{C}$ ocorreram nas frações fina e grossa nesta região associadas ao crescimento de fitoplâncton. No período de águas baixas, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ -MOP são similares ao $\delta^{13}\text{C}$ médio obtido em amostras com apenas fitoplâncton coletadas na bacia ($-31,0 \pm 4,7 \text{‰}$), sugerindo que a produção primária *in situ* pode ser uma fonte importante de carbono leve para a MOP do rio durante a estação. A medida que o rio entra nos setores subsequentes à jusante, nos quais a cultura de cana-de-açúcar (C_4) domina a paisagem, observa-se um enriquecimento isotópico e os valores do $\delta^{13}\text{C}$ tornam-se sempre mais pesados em todas as frações. Nesta área, a variabilidade do $\delta^{13}\text{C}$ a MOP foi menor nos dois tributários principais. A fração fina apresentou uma média de $-25,5 \pm 1,37 \text{‰}$ ($n = 32$). Na fração grossa, estes valores foram mais pesados, com um $\delta^{13}\text{C}$ médio de $-24,6 \pm 0,96 \text{‰}$ ($n = 31$). A fração ultrafiltrada apresentou um $\delta^{13}\text{C}$ médio de $-23,3 \pm 1,3 \text{‰}$ ($n=71$).

No estado de Rondônia, solos com cobertura florestal apresentam composição isotópica do carbono que refletem os valores da vegetação C_3 , com uma variabilidade pequena no $\delta^{13}\text{C}$. Os valores observados nas camadas superficiais do solo abrangem uma faixa muito estreita, entre $-27,0$ e $-28,5\text{‰}$, os quais são consistentes com as medidas efetuadas em outras florestas tropicais (NEILL et al., 2001). Nesta região, a introdução de gramíneas C_4 (principalmente brachiaria) resulta em um enriquecimento isotópico do $\delta^{13}\text{C}$ com valores aumentando em função do aumento da idade das pastagens. Depois 7 a 9 anos de cultivo com pastagens, a camada superficial do solo

apresentava um valor médio de $\delta^{13}\text{C}$ de $-22,4 \pm 1,6$ ‰, atingindo $-19,4 \pm 1,1$ ‰ após 20 anos de introdução da pastagem (NEILL et al., 2001). Em 81 anos de cultivo, na camada do solo de 0-10 cm, os valores do $\delta^{13}\text{C}$ atingiram $-14,3$ ‰ (MORAES et al., 1996), valor muito próximo ao das gramíneas.

Na bacia de drenagem do rio Ji-Paraná (RO), as áreas em que a cobertura do solo dominante é a floresta, os valores do $\delta^{13}\text{C}$ do carbono transportado nas frações fina e grossa no rio foram similares às observadas no rio Madeira (HEDGES et al., 1986), variando entre $-27,8$ e $-26,1$ ‰. Na região das cabeceiras, onde a paisagem é dominada pela floresta tropical nativa composta majoritariamente por plantas C_3 , a fração fina apresentou um $\delta^{13}\text{C}$ médio de $-28,0 \pm 0,2$ ‰ ($n = 20$). Na fração grossa, mais leve que a fina, foi observada uma média de $-29,2 \pm 0,8$ ‰ ($n = 24$), enquanto a fração ultrafiltrada apresentou os valores mais $-26,9 \pm 1,5$ ‰ ($n = 16$).

Vários estudos conduzidos na Amazônia na década de 1980 demonstraram que a cobertura vegetal da bacia de drenagem é um dos principais fatores controladores da composição isotópica do carbono presente na matéria orgânica transportada pelos rios (HEDGES et al., 1986), além da textura do solo, que também pode exercer uma certa influência (MARIOTTI et al., 1991). Nos ecossistemas agrícolas da Amazônia, nos quais a floresta C_3 original foi substituída por plantas C_4 , a matéria orgânica delas derivada é incorporada rapidamente nas camadas superficiais do solo (MORAES et al., 1996, NEILL et al., 1997). Na bacia do rio Ji-Paraná (Figura 5), na porção central onde dominam as pastagens os valores médios do $\delta^{13}\text{C}$ foram $-26,9 \pm 2,4$ ‰ ($n = 38$), $-28,9 \pm 0,9$ ‰ ($n = 40$) e $-25,8 \pm 2,3$ ‰ ($n = 30$), nas frações fina, grossa e dissolvida, respectivamente. Uma das características interessantes do trecho final da bacia do rio Ji-Paraná é a reversão do padrão de cobertura do solo predominante nos setores anteriores. A pastagem torna-se menos comum, com 64% da paisagem coberta por vegetação C_3 nativa, composta por floresta tropical e cerrado. Como resultado, a composição mais leve do $\delta^{13}\text{C}$ desta vegetação afeta a composição do material orgânico em todas as frações particuladas e na dissolvida em trânsito no rio. Nesta região, os valores médios do $\delta^{13}\text{C}$ da fração fina atingiram $-28,3 \pm 1,2$ ‰ ($n = 14$), na fração grossa $-29,6 \pm 1,4$ ‰ ($n = 18$) e $-27,2 \pm 0,9$ ‰ ($n = 10$) na dissolvida.

A maior parte das pastagens na bacia do rio Ji-Paraná foi estabelecida entre as décadas de 80 e 90. Conseqüentemente, hoje, cerca de 50% da porção central da mesma é coberta por pastos com idade média de 20 anos. Estas mudanças relativamente recentes na cobertura e uso da região já tiveram um impacto detectável na composição da matéria orgânica do solo (NEILL et al., 1997) e um enriquecimento isotópico do carbono orgânico fluvial é esperado a medida que a bacia drena áreas majoritariamente cobertas por pastagens. De fato, enquanto os valores do $\delta^{13}\text{C}$ da fração grossa se assemelham muito aos do solo de florestas, as frações finas e dissolvida apresentam valores mais próximos dos da pastagem. Assim, como ocorreu com a composição química, o mesmo padrão foi observado nos levantamentos extensivos em setores de drenagem que combinam diferentes tipos de solos e coberturas dos mesmos. A área coberta por plantas C_4 em cada uma dos setores explicou 62% da variabilidade observada no $\delta^{13}\text{C}$ da fração fina, 46% da grossa e 55% da dissolvida.

Portanto, mudanças significativas na estrutura e funcionamento dos ecossistemas em função da expansão dos biocombustíveis, podem ocorrer. Os impactos ambientais resultantes, apesar de complexos e variáveis em cada região e tipo de cultura, estão relativamente bem documentados. Contudo, têm recebido menor atenção nos estudos de potencialidade e sustentabilidade para produção de agroenergia. De um modo geral, as culturas que apresentam menores impactos serão as que possuem menor demanda por irrigação, fertilizante e pesticida, bem como uma maior proteção do solo, contra a erosão. Portanto, as políticas públicas deveriam encorajar aquelas medidas que possam ter um impacto positivo significativo na proteção dos recursos hídricos e dos solos a medida que a demanda por agroenergia aumenta.

Referências bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Sistema Hidroweb**. Brasília: ANA, 2007. Disponível em: <www.ana.gov.br>. Acesso em: 20 abr. 2008.

ANDREAE, M. O. et al. Smoking rain clouds over the Amazon. **Science**, v. 303, p. 1337-1342, 2004.

BALLESTER, M. V. R. et al. Effects of increasing organic matter loading on the dissolved O₂, free CO₂ and respiration rates in the Piracicaba river basin, Brazil. **Water Resources Research**, v. 33, n. 9, p. 2119-2129, 1999.

BALLESTER, M. V. R. et al. Análise integrada de bacias de drenagem utilizando Sistemas de Informações Geográficas e biogeoquímica de águas superficiais a bacia do rio Piracicaba (São Paulo). In: Camargo, A. (Org.). **Conceito de Bacias Hidrográficas: teoria e aplicações**. Ilheus, BA: Editus, 2001.

BALLESTER, M. V. R. et al. A Remote Sensing/GIS-based physical template to understand the biogeochemistry of the Ji-Paraná River Basin (Western Amazônia). **Remote Sensing of the Environment**, v. 87, n. 4, p. 429-445, 2003.

BALLESTER, M. V. R. **Mudanças na cobertura e uso do solo em paisagens do Brasil tropical e suas consequências para o funcionamento dos ecossistemas aquáticos**. 2008. Tese (Livre Docência) - ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BALLESTER, M. V. R. et al. Physical and human controls on the carbon composition of organic matter in tropical rivers: an integrated analysis of landscape properties and river isotopic composition. In: ITO, M. (Org.). **Application of isotope techniques for nutrient cycling and management in rivers**. Vienna: IAEA, 2008. No prelo.

CERRI, C. E. P. et al. GIS erosion risk assessment of the Piracicaba river basin in southeastern Brazil. **Mapping Sciences and Remote Sensing**, v. 38, n. 3, p. 157-171, 2001.

CUSHING, C. E.; MINSHALL, G. W.; NEWBOLD, J. vD. Transport dynamics of fine particulate organic matter in two Idaho streams. **Limnology and Oceanography**, v. 38, p. 1101-1115, 1993.

CRUTZEN, P. J.; MOISER, A. R.; SMITH, K. A.; WINIWARTER W. N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels **Atmos. Chem. Phys. Discuss.**, v. 7, p. 11191-11205, 2007.

EMBRAPA. **Diretrizes de política de agro energia**: 2006-2011. Brasília: Embrapa: MAPA, 2006.

FARGIONE, J.; HILL, J.; TILMAN, D.; POLASKY, S; HARWTHORNE, P. Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt. **Science**, v. 319, p. 1235-1238, 2008.

FISHER, B. et al. **Issues related to mitigation in the long term context climate change 2007**: contribution of working group III to the fourth assessment report of the inter-governmental panel on climate change. [Geneva]: IPCC, 2007.

FRAITURE, C.; GIORDAN, M.; LIAO, Y. Biofuels and implications for agricultural water use: blue impacts of green energy. **Water Policy 10 Supplement**, v. 1, p. 67-81, 2008.

GALLOWAY, J. N.; TOWNSEND, A. R.; ERISMAN, J. W.; BEKUNDA, M.; CAO, Z.; FRESNEY, J. R.; MARTINELLI, L. A.; SEITZINGER, S. P; SUTTON, M. A. Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions, and potential solutions. **Science**, v. 320, n. 5878, p. 889 – 892, 2008. Doi: 10.1126/science.1136674.

GASH, J. H. C.; NOBRE, C. A.; ROBERTS, M. J.; VICTORIA, R. L. **Amazonian deforestation and Climate**. New York: Wiley and Sons, 1996.

HEDGES, J. I.; COWIE, G. L.; RICHEY, J. E.; RICHEY, P. D. QUAY, R. BENNER, M.; STROM, M. Origins and processing of organic matter in the amazon river as indicated by carbohydrates and amino acids. **Limnology and Oceanography**, v. 39, p. 743-761, 1994.

HEDGES, J. I. et al. Organic carbon-14 in the amazon river system. **Science**, v. 231, p. 1129-1131, 1986.

IBGE. **Sistema SIDRA**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 12 abr. 2007.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2007: the physical science basis: Summary for Policymaker.** Geneva: IPCC, 2007a. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Fourth Assessment Report, Working Group: III.** Summary for Policymakers. Geneva: IPCC, 2007b.

KING, C. W.; HOLMAN, A. S.; WEBBER, M. E. Thirst for energy. **Nature geoscience**, v. 1, p. 283-286, 2008.

KOONIN, S. E. Getting serious about biofuels. **Science**, v. 311, p. 435, 2006.

KRUSCHE, A. V. et al. Acid rain and nitrogen deposition in a sub-tropical watershed (Piracicaba): ecosystem consequences. **Environmental Pollution**, v.121, p. 389-399, 2003.

KRUSCHE, A. V. et al. As mudanças no uso da terra e a biogeoquímica dos corpos d'água na Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 35, n. 2, p. 209-217. 2005.

LAPOLA, D. M.; SCHALDACHA, R.; ALCAMOA, J.; BONDEAUD, A.; KOCHA, J.; KOELKINGA, C.; PRIESSE, J. A. Indirect land-use changes can overcome carbon savings from biofuels in Brazil. **PNAS**, v.107, p. 3388-3393, 2010.

LARA, L. et al. Chemical composition of rainwater and anthropogenic influences in the Piracicaba river basin, southeast Brazil. **Atmospheric Environment**, v. 35, p. 4937-4945. 2001.

MARIOTTI, A. F; GADEL, P; GIRESE, P; KINGA-MOUZEO, P. Carbon isotope composition and geochemistry of particulate organic matter in the Congo River (Central Africa): Application to the study of Quaternary sediments off the mouth of the river. **Chemical Geology**, v. 86, p. 345-357, 1991.

MELILLO, J. M.; REILLY, J. M.; KICKLIGHTER, D. W.; GURGEL, A. C.; CRONIN, T. W.; PALTSEV, S.; FELZER, B. S.; WANG, X.; SOKOLOV, A. P.; SCHLOSSER, A. Indirect emissions from biofuels: how Important? **Science**, 2010. Doi: 10.1126/science.1180251.

MEYBECK, M. Carbon, nitrogen and phosphorus transport by world rivers. **Am. J. Sci.**, v. 282, p. 401-405, 1982.

MORAES, J. F. L. de. et al. Soil properties under Amazon forest and changes due to pasture installation in Rondonia, Brazil. **Geoderma**, v.70, p.63-81, 1996.

NEILL, C. et al. Soil carbon and nitrogen stocks following forest clearing for pasture in the southwestern brazilian amazona. **Ecological applications**, v. 7, n. 4, p. 1216-1225, 1997.

NEILL, C.; DEEGAN, L. A.; THOMAS, S. M.; CERRI, C. C. Deforestation for pasture alters nitrogen and phosphorus in soil solution and streamwater of small amazonian watersheds. **Ecological Applications**, v. 11, p. 1817-1828, 2001.

NEILL, C.; DEEGAN, L. A.; THOMAS, S. M.; HAUPER, C. L.; KRUSCHE, M. V. R. BALLESTER, M. V. VICTORIA, R. L. Deforestation alters hydraulic and biogeochemical characteristics of small lowland Amazonian streams. **Hydrological Processes**, v. 20, p. 2563-2580, 2006.

REAY, D. Spring-time for sinks. **Nature**, v. 446, p. 727-728, 2007.

RIGHELATO, R.; SPRACKLEN, D.V. Carbon mitigation by biofuels or by saving and restoring Forests? **Science**, v. 317, n. 5840, p. 902, 2008. Doi: 10.1126/science.1141361.

SANTIAGO, A. V. **Simulações dos efeitos da cobertura vegetal no balanço hídrico da bacia do rio Ji-Paraná, RO**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-graduação em Física do Ambiente Agrícola. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP. 2006.

SCHNOOR, J. L. et al. **Water Implications of Biofuels Production in the United States**. Washington: National Academy of Sciences, 2007. 4 p.

SEAGRO. **Tocantins rural**: 2007-2010, Palma: Seagro, 2007. 60 p.

SCHARLEMANN, J. P. W.; LAURENCE, W. F. How Green Are Biofuels? **Science**, v. 319, p. 43-44, 2008.

SOMERVILLE, C. The billion-ton biofuels vision. **Science**, v. 312, p. 1277, 2006.

SUNG, W. Some observations on surface partitioning of Cd, Cu and Zn in estuaries. **Environ. Sci. Technol.**, v. 29, p. 1303-1312, 1995.

THOMAS, S.; NEILL, C.; DEEGAN, L.; KRUSCHE, A. V.; BALLESTER, M. V. R.; VICTORIA, R. L. Influences of land use and stream size on particulate and dissolved materials in a small amazonian stream network. **Biogeochemistry**, v. 68, p. 135-151. 2004.

TILMAN, D.; HILL, J.; LEHMAN, C. Carbon-negative biofuels from low-input high-diversity grassland biomass. **Science**, v. 314, p. 1594-1600, 2006.

TRIVELIN, P. C. O.; OLIVEIRA, M. W.; VITTI, A. C.; GAVA, G. J. C.; BENDASSOLLI, J. A. Perdas do nitrogênio da uréia no sistema solo-planta em dois ciclos de cana-de-açúcar. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 37, p. 193-201, 2002.

UNITED NATIONS. World Water Assessment Programme. **Water for People, Water for Life: executive summary**. New York: UN, 2003. 36 p.

UNESCO. **The 2nd UN world water development report**: 'Water, a shared responsibility. Paris: UNESCO, 2006. Disponível em: <http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr2/table_content_s.shtml.2006>. Acesso em: 20 abr. 2008

VARGUESE, S. **Biofuels and Global Water Challenges**. Minneapolis: IATP, 2008.

VICTORIA, D. de C.; SANTIAGO, A. V.; BALLESTER, M. V. R.; PEREIRA, A. R.; VICTORIA, R. L. RICHEY, J. E. Water balance for the Ji-Paraná river basin, western Amazon, using a simple method through geographical information systems and remote sensing. **Earth Interactions**, v. 11, n. 5, p. 1-22, 2007a.

VICTORIA, D. C.; COLLICCHIO, E.; PEREIRA, A. R. Balanço hídrico espacializado para o estado do Tocantins: implicações do aquecimento global para a cana-de-açúcar. In: ENCONTRO CIENTÍFICO DOS PÓS-GRADUANDOS NO CENA, 8., **Ciência: ambiente e responsabilidade social: anais**. Piracicaba: CENA-USP, 2007b.

VITORELLO, V. A.; CERRI, C. C.; ANDREUX, F.; FELLER, C.; VICTORIA, R. L. Organic matter and natural carbon-13 distribution in forested and cultivated oxisols. **Soil Sci. Soc. Am. J.** v. 53, p. 773-778. 1989.

Manejo e conservação do
solo e da água no contexto
dos serviços ambientais

Parte IV





Foto: Ana Paula Dias Turetta
EMBRAPA SOLOS

Ana Paula Dias Turetta

Rachel Bardy Prado

Azeneth Eufrausino Schuler

Frente ao crescimento populacional e à pressão por aumento na produção de alimentos, fibras e energia, um dos maiores desafios da humanidade é assegurar a disponibilidade de recursos naturais, de forma sustentável, em quantidade e qualidade suficientes para suprir a demanda mundial e ao mesmo tempo garantir a integridade dos ecossistemas.

No entanto, esse cenário tem causado um impacto cada vez maior no uso e cobertura das terras afetando diretamente a capacidade dos ecossistemas em prover diferentes serviços essenciais à manutenção da vida – os chamados serviços ecossistêmicos.

Segundo *Millennium Ecosystem Assessment* (2005) os serviços ecossistêmicos podem ser classificados como: serviços com provisão direta de bens (fibras, alimentos, madeira e água), serviços que suportam a vida no planeta (formação de solos, ciclagem de nutrientes, polinização e controle hídrico), serviços derivados dos benefícios de regulação de processos (regulação climática, controle de doenças e pragas) e serviços ditos culturais, não associados, necessariamente a benefícios materiais (recreação, estética e outros).

A geração destes bens e serviços pelos ecossistemas naturais ou sob atividade antrópica, é condicionada pelo tipo de uso e cobertura da terra, ocorrente em determinado espaço e tempo. Mudanças no uso e cobertura da terra têm impactos relevantes no funcionamento de um sistema, interferindo nos serviços acima citados. Historicamente, as mudanças de uso da terra em várias regiões do planeta resultaram em: grande perda de nutrientes do solo, especialmente se a mudança de uso for para agricultura intensiva; aumento da emissão de gases de efeito

estufa, com destaque para o caso de desflorestamento, em que é comum o uso de queimadas; e aumento do número de espécies invasoras, ou seja, em todos os casos um ônus para o meio ambiente.

A agricultura é uma atividade de destaque entre os setores econômicos que impulsionam alterações no uso da terra. Neste sentido, pode-se dizer que as atividades agrícolas de forma não sustentável, contribuem para o declínio de vários serviços ambientais, como por exemplo, o aumento da produção agrícola em escala global pode estar associado ao declínio na regulação da qualidade do ar, do clima, à ocorrência de processos erosivos, à redução das funções de regulação de pragas e de polinização pela fauna silvestre, dentre outros. Esses fatos foram intensificados especialmente nos últimos 50 anos e despertam dúvidas em relação aos custos do progresso econômico, obtido em detrimento da sustentabilidade ambiental necessária para manter a produtividade de sistemas naturais e antrópicos no futuro (*MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005*).

Mais e melhores informações científicas sobre os recursos naturais e opções ecologicamente adequadas de uso e manejo da terra, relacionadas ao entendimento da lógica de produção do produtor, podem influenciar na tomada de decisão sobre suas práticas, de modo que promovam melhorias ambientais e contribuam para o desenvolvimento sustentável da agricultura (BICALHO; HOEFLE, 2002; HOEFLE, 2007, 2008, 2009). Com o propósito de apontar alguns dos avanços recentes nestas áreas, bem como as principais necessidades de pesquisa científica, os capítulos componentes da Parte 4 apresentam diferentes aspectos das relações entre o manejo do solo e da água e a geração de serviços ambientais, apresentando e discutindo algumas iniciativas ocorridas no Brasil.

No capítulo 2 “Manejo e conservação de solos no contexto dos serviços ambientais” são apresentadas práticas de manejo dos solos e seu significado perante a abordagem dos serviços ambientais. Os autores levam em conta as peculiaridades dos diferentes biomas brasileiros na identificação de prioridades para a manutenção e recuperação de bens e serviços ambientais, sob maior risco em dado bioma, orientando a seleção de sistemas e práticas de manejo e conservação que melhor atendam aos objetivos delineados para diferentes situações.

No capítulo 3, “Sistemas Conservacionistas de Uso do Solo”, tal assunto é aprofundado, sendo apresentados resultados de pesquisas relacionados a práticas de manejo do solo, tanto para culturas anuais como perenes, tais como a integração lavoura-pecuária e os sistemas agroecológicos de produção.

Portanto, a necessidade de se assegurar a qualidade do solo e da água, por meio de boas práticas agrícolas, para manter o bom funcionamento do sistema é o tema explorado nos capítulos 2 e 3. Solo e água desenvolvem uma intrínseca relação onde o uso de um recurso influencia na qualidade e disponibilidade do outro. Desconsiderar tal interação nas atividades agrícolas tem ocasionado processos acelerados de degradação em bacias hidrográficas dos diferentes biomas brasileiros.

No intuito de reverter esta situação, o reconhecimento e a valorização dos serviços ambientais representam uma grande oportunidade de incentivar a implementação de práticas sustentáveis no ambiente rural, por meio de um processo participativo que envolva os diferentes atores sociais – comunidade local, instituições governamentais e não-governamentais, representantes da sociedade civil, instituições de ensino, assim como do setor privado.

O conceito de Serviços Ambientais é tratado por vezes como sinônimo de serviços ecossistêmicos. Alguns autores tratam ambos os termos de forma um pouco diferenciada e outros como similares, como é o caso de WWF (2010) e Scherr et al. (2006).

Segundo Veiga Neto (2008), o trabalho de Daily (1997) é um dos primeiros a abordar o conceito de serviços ecossistêmicos como “os serviços prestados pelos ecossistemas naturais e as espécies que os compõem, na sustentação e preenchimento das condições para a permanência da vida humana na Terra”. Veiga Neto (2008), avaliando a formação de mercados de serviços ambientais, utiliza o conceito relacionado à definição geral de “serviços”, entendidos como aqueles benefícios não-materiais.

A definição de Daily (1997) é similar à do *Millennium Ecosystem Assessment* (2005), em que os serviços ecossistêmicos são “os benefícios que o ser humano obtém dos ecossistemas”, e vem sendo utilizada pela literatura em geral (NICHOLSON et al., 2009; FAO, 2007). Já no relatório “*State of Food and Agriculture*” publicado pela FAO, esta

utiliza o termo serviços ambientais especificamente para um subconjunto de serviços ecossistêmicos, caracterizados como externalidades. O relatório empresta o conceito de externalidade dos economistas, com o significado de consequências não planejadas (ou não intencionais), positivas ou negativas, de uma atividade fim, como a produção de alimentos, por exemplo. Destaca ainda que os afetados por tais consequências não intencionais, não podem influenciar sua produção. Vários dos serviços ecossistêmicos são gerados como essas externalidades positivas (por exemplo: a manutenção da qualidade da água e do solo, a beleza cênica e a preservação de determinadas espécies), e não como um fim em si, como é a produção de alimentos, por exemplo. Assim, estes serviços que o ecossistema provê como externalidades de outras atividades são designados “serviços ambientais” pela FAO (2007), conceito também utilizado nesta publicação.

A importância em se estudar estes serviços tem sido amplamente reconhecida e progressos rápidos têm ocorrido neste sentido. Entretanto, prevalece ainda uma abordagem estática, baseada na avaliação independente de cada serviço, ignorando o fato de que os ecossistemas são dinâmicos e requerem uma abordagem multidisciplinar.

Conforme proposto por Groot et al. (1992), o primeiro passo para a compreensão da cota de bens e serviços ambientais, seria a tradução da complexidade ecológica (estruturas e processos) em um número limitado de funções do ecossistema. Segundo esses autores estas funções proveem os bens e serviços valorizados pelo homem, ou seja, serviços ambientais geram benefícios para a sociedade e são derivados, direta ou indiretamente, das funções ambientais.

No entanto, estes mecanismos de caracterização, quantificação e valoração de serviços ambientais, enquanto bens gerados pelos ecossistemas, ainda são pouco desenvolvidos, devido a várias dificuldades de ordem metodológica e prática. As dificuldades de ordem metodológica referem-se a como mensurar a natureza, enquanto as de ordem prática relacionam-se à obtenção de dados propriamente ditos. Uma estratégia simples de valoração de serviços ambientais específicos como, por exemplo, a manutenção da qualidade da água e do solo, é dada pela metodologia de Custos de Reposição

(ORTIZ, 2003). Essa metodologia parte da premissa de que uma vez constatado o dano ou a perda de qualidade de determinado recurso (solo, água ou ar) pode-se estimar o valor do serviço ambiental pelo custo associado à manutenção da qualidade do mesmo. Por exemplo, se identificada a perda de qualidade de água, em determinadas propriedades que não utilizem práticas conservacionistas, não possuam vegetação ciliar ou Áreas de Preservação Ambiental (APP) preservadas, pode-se propor um valor para a manutenção da qualidade da água, equivalente aos custos de implantação e manutenção de práticas conservacionistas e/ou de plantio de árvores nessas áreas.

Contudo, de acordo com o relatório do Millennium Ecosystem Assessment (2005) são restritas as informações disponíveis para avaliar as consequências das mudanças nos serviços providos pelos ecossistemas para o bem-estar humano. Muitos serviços dos ecossistemas não são monitorados. Além disso, há dificuldade em calcular as mudanças em operação nos ecossistemas e associá-las aos fatores que afetam o bem-estar humano, sejam sociais, culturais ou econômicos. Estes, por outro lado, muitas vezes, não estão necessariamente relacionados às mudanças nos serviços dos ecossistemas.

Para driblar estes obstáculos, algumas metodologias têm sido desenvolvidas para quantificar e valorar estes serviços. Uma alternativa para a mensuração dos serviços ambientais é a identificação de indicadores ou aplicação de índices de qualidade, que no caso ambiental relaciona-se ao solo, à vegetação, à água, à paisagem, dentre outros. Os indicadores e índices são capazes de compilar diversos resultados de parâmetros isolados, resumindo-os em uma única resposta, a respeito da qualidade ambiental da área analisada, o que facilita o entendimento dos processos complexos dos ecossistemas e a tomada de decisão. Esse recurso já é bastante utilizado na Comunidade Européia para avaliações em diferentes áreas, para nortear ações ambientais, políticas agrícolas, rurais, costeiras e de transportes, o planejamento espacial e mesmo em estudos das condições climáticas.

Entretanto, a construção de índices e a seleção de indicadores são relativamente complexas e sua aplicação é normalmente influenciada por diversos fatores como: diversidade de níveis de análise sobre os agroecossistemas e interdependência existente entre

condições ambientais, sociais e econômicas.

No Brasil, destacam-se algumas iniciativas de avaliação da qualidade do solo, considerada como um meio para guiar decisões de manejo na direção de práticas de agricultura sustentável, abordagem onde a percepção do agricultor é fundamental para o desenvolvimento de mecanismos facilitadores da tomada de decisão (ANDREWS et al., 2002; ANDREWS et al., 2003). Todavia a ausência de parâmetros para avaliação da qualidade do solo, que auxiliem os agricultores a planejarem seus sistemas de manejo, constitui um dos grandes obstáculos identificados. A superação desse desafio mostra-se como condição fundamental para viabilizar a ampla disseminação das práticas de manejo agroecológico em meio às comunidades rurais. Neste sentido, o capítulo 4 “Métodos de integração de indicadores para avaliação da qualidade do solo” discute diversos aspectos relacionados aos indicadores e índices de qualidade do solo. De forma complementar, o capítulo 5 “Índices de Qualidade de Água: métodos e aplicabilidade” apresenta uma discussão sobre alguns dos índices de qualidade de água superficial e subterrânea, desenvolvidos internacionalmente e no Brasil, suas peculiaridades, vantagens e desvantagens, fornecendo uma gama de opções para utilização em diferentes bacias hidrográficas.

A formulação e aplicação de metodologias para mensurar e avaliar a qualidade das funções e serviços ambientais permite balizar as decisões de agricultores, gestores, empresários e outros usuários diretos de recursos naturais. Por outro lado, tais estudos auxiliam também no desenvolvimento e no uso de instrumentos político-econômicos que permitam identificar e incentivar atores e práticas de manejo de recursos naturais, em prol da conservação de serviços ambientais.

Uma das estratégias de incentivo às práticas adequadas de manejo dos recursos naturais é o tipo de compensação financeira que vem sendo denominada Pagamento por Serviços Ambientais. Nesta obra, utiliza-se o conceito da FAO sobre o pagamento por serviços ambientais, segundo o qual “PES (*Payment for Environmental Services*) é um instrumento econômico designado a outorgar incentivos aos usuários das terras por adotarem melhores práticas de manejo do solo que possam resultar em uma prestação de serviços contínuos e de melhor qualidade, em benefício de um usuário específico ou da

sociedade como um todo” (FAO, 2007). Segundo a FAO (2007), os programas atuais de PSA enfocam a água, o carbono e a biodiversidade e relacionam-se, principalmente, a interesses públicos em abordar um problema ambiental, por meio de incentivos positivos para os responsáveis pela gestão das terras. Este tipo de instrumento tem sido discutido de forma crescente em todo o mundo, inclusive sendo introduzido no Brasil recentemente, com exemplos de incentivos adotados, principalmente em relação à preservação da cobertura vegetal ou à redução do desmatamento dos biomas mais suscetíveis à perda de áreas naturais, como a Amazônia, a Mata Atlântica e o Cerrado. São eles: o Programa Bolsa Floresta na Amazônia, o Sistema Nacional de Unidade de Conservação (SNUC), o Programa Redução das Emissões do Desmatamento e da Degradação (REDD) no Mato Grosso e a Lei Chico Mendes na Amazônia (NOVION; VALLE, 2009).

Diversos estados da federação têm utilizado esta modalidade de incentivo em relação às práticas sustentáveis de manejo do solo, da vegetação e da água e geração de serviços ambientais. O Estado do Paraná obteve como resultado de seu programa, um aumento no número de áreas protegidas no Estado de 165%. Também diferentes políticas públicas, mecanismos de incentivo e oportunidades econômicas para a proteção e restauração da Mata Atlântica têm sido desenvolvidos recentemente como é o caso do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços Ecológicos (ICMS), adotado em vários estados brasileiros, além do Paraná (ALGER; LIMA, 2003). Trata-se de um instrumento de compensação fiscal, baseado na área sob proteção oficial, declarada pelos estados e municípios. Este instrumento foi estabelecido no Estado do Rio de Janeiro, em outubro de 2007, por meio da Lei Estadual do ICMS Verde que estabeleceu novas regras para o repasse do ICMS aos seus 92 municípios.

O desenvolvimento de diferentes estratégias para recompensar provedores de serviços ambientais, sejam indivíduos, comunidades, empresas, municípios ou organizações, ocorre por meio de diferentes arranjos institucionais para a formação dos chamados mercados de serviços ambientais. Em estudo de tese sobre a construção institucional destes mercados e suas implicações para o desenvolvimento rural sustentável, Veiga Neto (2008) apresenta o estado-da-arte da formação dos mercados de serviços ambientais, as dificuldades para seu

estabelecimento e os benefícios em potencial para o país. O autor destaca a percepção crescente pela sociedade da constante deterioração dos serviços ambientais, baseada em informações repassadas à mídia por cientistas e por inúmeras organizações não-governamentais ambientais em todo o mundo, mas também fruto da própria percepção direta dos usuários a respeito dos serviços ambientais. Segundo o autor, esta percepção tem se mostrado fundamental nas estimativas de disposição dos usuários tanto a pagar, quanto na disposição a receber dos produtores dos serviços.

No estudo de Veiga Neto (2008) mencionado, três serviços providos pelas florestas tropicais são focados: a manutenção e/ou o sequestro de carbono, relacionado com as mudanças climáticas; os serviços associados à manutenção da biodiversidade e os serviços associados à qualidade e quantidade de água. O autor ressalta que o sequestro de carbono possui uma abordagem mais global, enquanto que a água, apesar de sua dimensão planetária, possui uma abordagem mais local, no que tange aos serviços ambientais.

Tratando de serviços associados aos recursos hídricos, a Lei 9.433 de 1997, ao instituir a Política Nacional dos Recursos Hídricos, baseou-se nos princípios usuário-pagador e poluidor-pagador, que aceitam a alternativa de pagamento em caso de dano. O princípio poluidor-pagador, na medida em que induz os agentes poluidores a diminuir os seus despejos ao corpo receptor para evitar a cobrança, internalizando os custos de controle da poluição, constitui o principal princípio de gestão de recursos hídricos no Brasil.

Todavia, tem-se delineado um novo conceito no cenário de discussões sobre o gerenciamento de recursos hídricos, sendo ele o princípio protetor-recebedor ou, ainda, provedor-recebedor, que é complementar aos outros dois princípios (FAGANELLO, 2007). O princípio protetor-recebedor prevê o pagamento por serviços ambientais.

No setor público, uma proposta de PSA foi implementada pela Agência Nacional das Águas (ANA) em 2003, sendo o programa denominado Produtor de Água. O objetivo do programa é a melhoria da qualidade da água, por meio do incentivo à adoção de práticas que promovam a redução da sedimentação, o aumento da oferta de água (e sua garantia) e a conscientização dos produtores e consumidores de

água da importância da gestão integrada de bacias hidrográficas. O programa remunera produtores rurais pela restauração e manutenção de florestas e pelas boas práticas de manejo e conservação do solo realizadas em suas propriedades. Os arranjos institucionais envolvidos no programa, bem como as fontes de recurso para o pagamento do serviço ambiental podem ser diferenciados para cada realidade e caso. Essa promissora iniciativa de pagamento por serviços ambientais está em andamento em diversos estados brasileiros, com novas solicitações de apoio à ANA para sua implementação. Devido à sua importância e abrangência, o programa é abordado em detalhe no capítulo 6 “Gestão de Recursos Hídricos na Agricultura: O Programa Produtor de Água”.

Percebe-se neste processo, que o crescente interesse e a demanda da sociedade levou à discussão no Congresso de um Projeto de Lei (PL) para instituir a Política Nacional dos Serviços Ambientais e o Programa Federal de Pagamento por Serviços Ambientais. Paralelamente, alguns estados brasileiros vêm trabalhando na elaboração de PLs para o estabelecimento de políticas e programas estaduais de pagamento por serviços ambientais, como por exemplo, os Estados de São Paulo, Espírito Santo, Ceará, Paraná, Minas Gerais e Rio de Janeiro. Este último instituiu um Fórum coordenado pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA) com participação de diversas instituições públicas, relacionadas ao meio ambiente e agricultura, organizações não-governamentais e representantes de comitês de bacias hidrográficas, para subsidiar a elaboração do PL-PSA estadual.

Além da articulação institucional e do planejamento das ações, um dos requisitos para a implantação e o sucesso de um programa de pagamento por serviços ambientais é o acompanhamento dos resultados das ações, o que permitirá saber se estas estão sendo realizadas conforme planejado e de forma efetiva, podendo subsidiar o redirecionamento das mesmas, otimizando recursos. Para que isto ocorra é preciso estabelecer um sistema de monitoramento, seja ambiental, social ou econômico. O monitoramento ambiental, no caso do Produtor de Água, permitirá verificar se as boas práticas de manejo adotadas na propriedade estão sendo efetivas para a diminuição da perda de solos, a melhor infiltração da água, a melhoria da qualidade da água, bem como o aumento da cobertura vegetal na bacia hidrográfica que está sendo trabalhada.

Outro aspecto relacionado ao pagamento por serviços ambientais discutido internacionalmente, refere-se à sua utilização para incentivar o sequestro de carbono e a redução da emissão de Gases de Efeito Estufa (GEEs). Visando fornecer maiores informações a respeito, o capítulo 7 aborda o tema “Mudanças ambientais: sequestro de carbono e gases de efeito estufa”, e encerra a Parte 4 deste livro, apresentando e discutindo resultados de diversas pesquisas sobre o assunto.

May (2005) destaca que projetos de PSA para sequestro de carbono (créditos de carbono e mecanismos de desenvolvimento limpo) e redução da emissão dos GEEs, requerem sofisticados estudos e regulamentação sobre linhas de base, adicionalidades e outros aspectos técnicos que aumentam consideravelmente os custos de transação e inviabilizam projetos de pequeno e médio porte. Segundo este autor, embora existam incertezas associadas ao mercado de carbono, o investimento na definição de sistemas nacionais e internacionais de registro de Reduções Certificadas de Emissões (RCEs) e de modalidades de atividades, que se enquadram nas condições exigidas pelo mercado, resultou numa oferta crescente de projetos para preencher a demanda imediata prevista.

No Brasil, criou-se a Comissão Interministerial de Mudanças Climáticas em 1999, tendo emitido sua primeira resolução em 2003, a qual detalha procedimentos para elaboração e apresentação de projetos, e define no seu anexo III os critérios para avaliação do desenvolvimento sustentável dos mesmos, atribuição principal desta Comissão, designada autoridade nacional pelo Protocolo de Quioto.

Informações atualizadas a respeito dos créditos de carbono e dos MDL, são fornecidas por Takeda (2010), que analisa as principais características deste mercado e discute como o Brasil pode aproveitar as oportunidades relacionadas a ele, com ênfase especial às ações de implementação.

Frente às inúmeras questões, possibilidades e realidades encontradas no tema “Serviços Ambientais”, faz-se necessário garantir o acesso às informações de todos os atores sociais envolvidos nestes processos de geração e utilização destes serviços proporcionados pelo ecossistema. Para isso, a tradução do conhecimento científico para a sociedade é fundamental, e poderá, junto com a sensibilização da

sociedade diante dos problemas de manejo e conservação do solo e da água, garantir o sucesso das alternativas apresentadas como solução. Sendo assim, a parte 5 deste livro apresentará algumas iniciativas de sucesso que tiveram como foco o desenvolvimento de pesquisas participativas com diferentes atores sociais.

Perante os conceitos, princípios, métodos e aplicações apresentados e discutidos a respeito dos serviços ambientais e suas implicações para o manejo e conservação do solo e da água, os quais serão abordados em maior profundidade nos próximos capítulos, ressaltam-se os seguintes pontos:

- Os recursos naturais têm sido utilizados pelo homem de forma intensa nas últimas décadas, apesar da existência de várias alternativas para o uso e manejo conservacionista do solo e da água, as quais deverão ser, provavelmente, melhoradas. No entanto, são necessários estudos para avaliar o real impacto da utilização das diversas tecnologias adotadas na produção dos serviços ambientais, devendo ser selecionadas as mais adequadas a cada situação;
- Os indicadores e índices ambientais podem facilitar a compreensão da relação entre os serviços prestados pela natureza e os impactos da atividade humana, sendo necessário aprofundar estudos em metodologias de avaliação por índices e indicadores, com potencial para auxiliar na tomada de decisão sobre uso e manejo do solo e da água em bacias hidrográficas;
- O Pagamento por Serviços Ambientais vem sendo praticado em diversas regiões do mundo e sua aplicação já é uma realidade crescente no Brasil, com alguns exemplos mencionados neste ou nos próximos capítulos desta Parte 4;
- Deve-se impulsionar e facilitar o desenvolvimento de estratégias inovadoras para reconhecer e compensar aqueles que atuam em prol da conservação ambiental, principalmente dos que vivem no meio rural. Neste contexto, o Programa Produtor de Água da ANA se destaca como uma iniciativa que tem apresentado resultados promissores no Brasil;
- O conhecimento e as informações adquiridas pelos cientistas, a respeito dos serviços ambientais devem ser disseminados à sociedade, como contribuição fundamental para formular e validar estratégias de conservação dos mesmos.
- A atividade agrícola conservacionista, além de sua função primária

de produção de alimentos e fibras, deve ser valorizada como parte de um conjunto de estratégias para proteção da biodiversidade, provisão de lazer e recuperação de espaço degradado, bem como manutenção de beleza cênica através da paisagem cultural. Todas estas externalidades são consideradas serviços ambientais.

- Deve-se ressaltar que, numa perspectiva de sustentabilidade, tornam-se relevantes atividades econômicas que produzam bens e serviços, levando em conta todos os custos que lhes são associados. Para tal é fundamental estabelecer processos participativos para viabilizar o desenvolvimento de tais atividades, envolvendo os diferentes atores sociais – comunidade local, empreendedores, instituições governamentais e não-governamentais, representantes da sociedade civil, instituições de ensino e do setor privado.

Referências bibliográficas

ALGER, K.; LIMA, A. Políticas públicas e a fragmentação de ecossistemas. In: RAMBALDI, D. M.; OLIVEIRA, D. A. S. (Eds.). **Fragmentação de ecossistemas: causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2003. p. 391-419.

ANDREWS, S. S.; KARLEN, D. L.; MITCHELL, J. P. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 90, n. 1, p. 25– 45, 2002.

ANDREWS, S. S.; FLORA, C. B.; MITCHELL, J. P.; KARLEN, D. L. Growers' perceptions and acceptance of soil quality indices. **Geoderma**, Amsterdam, v. 114, p. 187– 213, 2003.

BICALHO, A. M. de S. M.; HOEFLE, S. W. **Environment perception and sustainable development in the Atlantic forest of southeast Brazil**. Montreal: Département de Géographie./ Université de Montréal, 2002. (Series Research monograph. The Commission on the Sustainability of Rural Systems, International Geographic Union; 6). Disponível em: <http://www.geog.umontreal.ca/igu-rural->

systems/http://www.geog.umontreal.ca/igu-r.

DAILY, G. C. (Ed.) **Nature's services: societal dependence on natural ecosystems**. Washington, DC: Island Press, 1997. 392 p.

DE GROOT, R. S. **Functions of nature**: evaluation of nature in environmental planning, management and decision making. Wageningen: Nature Conservation Department, Agricultural University Netherlands, 1992. 315 p.

FAGANELLO, C. R. F. **Fundamentação da cobrança pelo uso da água na agricultura irrigada, na microbacia do Ribeiro dos Martins, Piracicaba/SP**. 2007. 134 f. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo, Piracicaba.

FAO. **The state of food and agriculture**: paying farmers for environmental services. Rome, 2007. 240 p. (FAO. Agriculture Series; n. 38). Disponível em: [url:<http://www.fao.org/docrep/010/a1200e/a1200e00.htm>](http://www.fao.org/docrep/010/a1200e/a1200e00.htm). Acesso em: maio 2010.

HOEFLE, S. W. Paisagem, cultura e ambiente na mata atlântica no Sudeste. In: INTERNATIONAL ASSOCIATION OF LANDSCAPE ECOLOGY-BRAZIL, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: GEOHECO/UFRJ, 2007. p. 1-28, 1 cd-rom.

HOEFLE, S. W. You pig! A regional approach to environmental ethics in the Sertão of Northeast Brazil. **Critique of Anthropology**, v. 28, n. 4, p. 377-406, 2008.

HOEFLE, S. W. Enchanted (and Disenchanted/disenchanted) Amazonia: environmental ethics and cultural identity in northern Brazil. **Ethics, Place and Environment**, v. 12, n. 11, p. 107-130, 2009.

MAY, P. H. **O mercado de carbono**. Publicado em 07 jan. 2005. Disponível em: [url:<www.universia.com.br/html/materia/materia_gadg.html>](http://www.universia.com.br/html/materia/materia_gadg.html). Acesso

em: 29 abr. 2010.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being: synthesis**. Washington, DC: Island Press and World Resources Institute, 2005. Disponível em: <url: <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>>. Acesso em: 2 set. 2009.

NICHOLSON, E.; MACE, G. M.; ARMSWORTH, P. R.; ATKINSON, G.; BUCKLE, S.; CLEMENTS, T.; EWERS, R. M.; FA, J. E.; GARDNER, T. A.; GIBBONS, J.; GRENYER, R.; METCALFE, R.; MOURATO, S.; MUÛLS, M.; OSBORN, D.; REUMAN, D. C.; WATSON, C.; MILNER-GULLAND, E. J. Priority research areas for ecosystem services in a changing world. **Journal of Applied Ecology**, v. 46, n. 6, p. 1365-2664, 2009.

NOVION, H.; VALLE, R. **É pagando que se preserva? Subsídios para políticas de compensação por serviços ambientais**. São Paulo: ISA, 2009. 343 p. (Documentos, n.10).

ORTIZ, R. A. Valoração econômica ambiental. In: MAY, P. H.; LUSTOSA, M. C.; VINHA, V. (Org.) **Economia do meio ambiente: teoria e prática**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003. p. 81-100.

SCHERR, S. J.; BENNETT, M. T.; LOUGHNEY, M.; CANBY, K. **Developing future ecosystem service payment in China: lessons learned from international experience**. A report prepared for the China Council for International Cooperation on Environment and Development (CCICED) taskforce on Ecocompensation. [s.l.]: Forest Trends, 2006. 78 p.

TAKEDA, T. O. Créditos de carbono: implementação de mecanismos de desenvolvimento limpo. **Revista Âmbito Jurídico**, Rio Grande, n. 70, 1 nov. 2009. Disponível em: <Url: http://www.ambito-juridico.com.br/site/index.php?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=6882>. Acesso em: 29 abr. 2010.

VEIGA NETO, F. C. D. da. **A construção dos mercados de serviços ambientais e suas implicações para o desenvolvimento**

sustentável no Brasil. 286 f. 2008. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Ciências Humanas e Sociais.

WWF. **Payments for environmental services:** an equitable approach for reducing poverty and conserving nature. Switzerland. 2006. 20 p.

D i s p o n í v e l e m :

< U R L :

http://assets.panda.org/downloads/pes_report_2006.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2010.

*Eduardo de Sá Mendonça
Raphael Bragança Alves Fernandes*

Introdução

A Terra é composta pela atmosfera, litosfera, hidrosfera e biosfera. O solo é produto da interação das esferas ao longo do tempo (Figura 1). Dessa forma, o solo é um importante componente terrestre, apresentando grande diversidade de organismos e compostos orgânicos e inorgânicos, servindo como filtro e armazenador de água, carbono e nitrogênio, sendo fundamental para a manutenção da biosfera terrestre.

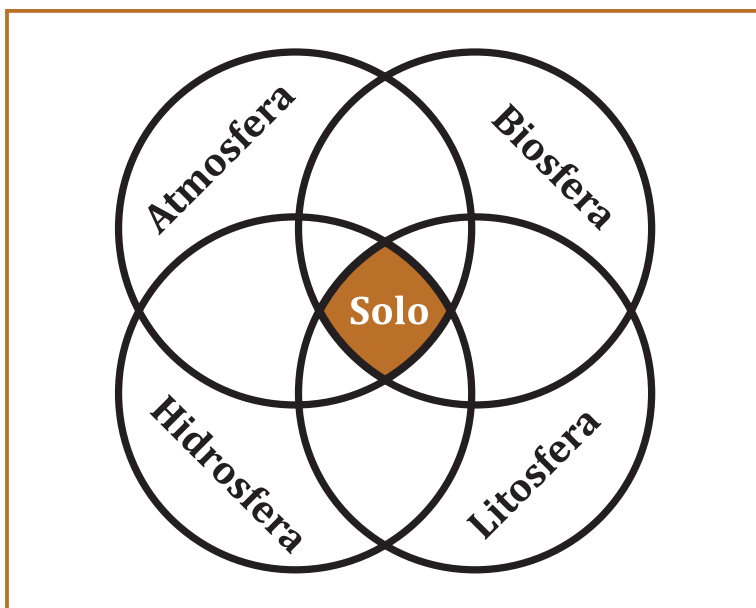


Figura 1. O solo (pedosfera) como componente integrador entre as quatro esferas fundamentais de nosso planeta: biosfera, litosfera, hidrosfera e atmosfera.

Para a discussão do tema 'Manejo e conservação de solos no contexto dos serviços ambientais', alguns pontos merecem uma consideração inicial:

- a) Qual o conceito de serviços ambientais?
- b) Quais os componentes terrestres que devem ser considerados como bens imprescindíveis a serem preservados?
- c) Como mensurar e valorar esses bens?
- d) Como utilizar e legislar utilizando o Princípio Protetor Receptor e suas variantes?
- e) Como as diversas formas de agricultura que a humanidade pratica influenciam esses bens?

Para responder essas questões, é importante que ter clareza de que o Brasil é um país continental, com grande diversidade ambiental e cultural, composto principalmente pelos biomas Amazônico, Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal (Figura 2 e Tabela 1). Dessa forma, a questão de serviços ambientais no contexto do manejo e conservação de solos deve ser compreendida também considerando como a agricultura brasileira afeta as diferentes esferas terrestres no contexto desses biomas.



Figura 2. Os principais biomas brasileiros com sua extensão territorial significativa e grande diversidade ambiental.
Fonte: IBGE, (2008a).

Tabela 1. Características dos principais biomas brasileiros.

Biomass Continentais Brasileiros	Área Aproximada (km²)	Participação na área total do território brasileiro
Amazônia	4.196.943	49,29 %
Cerrado	2.036.448	23,92 %
Mata Atlântica	1.110.182	13,04 %
Caatinga	844.453	9,92 %
Pampa	176.496	2,07 %
Pantanal	150.355	1,76 %
Área total – Brasil	8.514.877	100,00 %

Fonte: IBGE (2008a).

Serviços ambientais e o Princípio Protetor-Recebedor

O conceito de serviços ambientais apareceu no momento em que a sociedade se deu conta de que alguns bens imprescindíveis para a vida no planeta começavam a apresentar sinais de escassez ou risco de desaparecimento, com efeitos sobre a qualidade de vida humana que, levados ao extremo, podem comprometer sua existência. Dados de pesquisas diversas indicaram que bens como água doce e qualidade do ar corriam sérios riscos de alcançar um nível de disponibilidade e qualidade incompatível com a demanda da sociedade. No Brasil, esses bens ambientais foram alvo de inúmeras discussões a partir do início da década de 80 do século passado, sendo bandeira de luta inserida nas pautas de reivindicações de muitos movimentos ecológicos e sociais, os quais exigiam que as atividades humanas e, em especial, os empreendimentos econômicos, precisavam ser regulamentados e normatizados, com o objetivo de preservação da qualidade ambiental. O desenvolvimento científico e os estudos mais aprofundados nas diversas áreas da ciência permitiram que a legislação, em nível federal, estadual e municipal, aprofundasse a implementação de normas e regras comportamentais e de procedimentos técnicos que garantissem o uso dos recursos naturais de forma mais sustentável. A chegada do novo milênio veio associando uma demanda social, crescente pela preocupação ambiental à consolidação da capacidade das instituições nacionais de desenvolver e agregar metodologias que permitissem mensurar e valorar, numa margem de confiança aceitável, alguns bens ambientais demandados pela sociedade.

Apesar de muitos segmentos da sociedade entenderem que, dada a complexidade ambiental e dependência dos recursos naturais

para uma boa qualidade de vida, as pessoas deveriam ter atitudes mais sustentáveis, isto não se traduz em práticas cotidianas responsáveis para com o meio ambiente. Durante séculos a sociedade se beneficiou de um meio ambiente sadio, mas o modo de vida mais recente não estimula e não desperta para a ação ambiental concreta. Esse modo de vida, dito moderno, tem priorizado, sobretudo, o desenvolvimento econômico e a rentabilidade unicamente monetária, bem como o lucro e o retorno rápido dos investimentos. Somado a isto tem-se uma dificuldade financeira e falta de informação de grande parcela da população, que associados pressionam ainda mais os recursos naturais. Sob essa realidade nada mais normal que aparecessem mecanismos legais de punição aos infratores, buscando disciplinar o uso dos recursos naturais, protegendo o meio ambiente, bem maior de toda a coletividade. Daí o estabelecimento dos marcos legais dentro do Princípio do Poluidor-Pagador. Faltava, entretanto, entre os mecanismos de preservação ambiental, a valorização daqueles que, com suas ações, protegem o meio ambiente em benefício da coletividade. Essa é a nova lógica proposta, a da compensação por serviços ambientais prestados, que deve ser encarada, inclusive, como questão de justiça econômica e ambiental, compensando quem age a favor da natureza. Contudo, esse tipo de instrumento ainda encontra barreiras para ser implementado e aperfeiçoado, principalmente decorrente da carência de políticas públicas que incentivem tais práticas, a falta de um mecanismo estável e duradouro de financiamento e de uma base legal que reconheça o valor econômico dos serviços ambientais.

As regras de caráter ambiental, geralmente, são sanções negativas, isto é, de natureza punitiva, que pune o indivíduo que se utiliza dos recursos naturais de forma errônea e contrária a legislação (Princípio do Poluidor-Pagador). No entanto, estes atos repressivos e corretivos se mostram insuficientes para minimizar os riscos e impactos ambientais de diferentes empreendimentos. Dessa forma, faz-se necessário uma inversão da esfera punitiva para a esfera compensatória, pelo estabelecimento do Princípio do Protetor-Recebedor. Com este princípio, objetiva-se uma sanção positiva da sociedade e do Estado, permitindo a compensação por serviços ambientais prestados, constituindo-se assim, em uma forma de

estímulo para os atores sociais que têm sensibilidade ecológica e contribuem para a preservação/conservação do meio ambiente.

Essa nova ótica de análise da questão ambiental encontra ressonância também em alguns trabalhos que indicam uma deturpação do tradicional Princípio do Poluidor-Pagador. Pois alguns empreendedores, em especial, aqueles de maior poder aquisitivo, se valem da legislação, encarando-a de uma forma distorcida e executando suas atividades poluidoras dentre de uma perspectiva de um novo “ordenamento jurídico” próprio, qual seja, o do Princípio do Pagador-Poluidor. Sob essa ótica, por terem condições de arcar com multas, licenças, sanções diversas, por saberem da possibilidade de futuros acordos do tipo Termos de Ajustamento de Conduta (TAC) e, por poderem oferecer compensações ambientais em outras áreas, alguns empreendimentos executam suas atividades, mesmo que danosas ao meio ambiente, pois poderão pagar futuramente por isto.

A discussão mais recente dos serviços ambientais, por outro lado, é preventiva e positiva. A compensação financeira por estes serviços constitui norma incentivadora de práticas como, dentre outras:

- a) preservação de bens ambientais diversos;
- b) ações com efeito local, regional ou mesmo global (como é o caso do sequestro e armazenamento de carbono nas “fazendas de carbono”);
- c) criação e manutenção de áreas verdes privadas, como é o caso das Reservas Particulares de Patrimônio Natural (RPPN’s);
- d) proteção à biodiversidade (fauna e flora) nas suas mais diferentes formas;
- e) proteção de bacias hidrográficas;
- f) produção de água, dentro do contexto de ver o agricultor como “produtor de água”, dada a relevância da área rural como fonte dos recursos hídricos, já que no meio urbano predomina a impermeabilização dos terrenos e drenagem que rapidamente elimina a água aí precipitada;
- h) manutenção/preservação de beleza cênica.

Todas essas iniciativas ainda são, contudo, pouco difundidas e de conhecimento de uma parcela muito pequena da sociedade, uma vez que, para a sua efetivação são necessárias políticas públicas efetivas e a

criação de leis que disciplinem a forma de pagamento por esses serviços e a origem dos recursos a serem alocados com essa finalidade.

Uma variação do Princípio Protetor-Recebedor é o do Não-Poluidor-Recebedor (RIBEIRO, 2008), pelo qual aquele que deixar de poluir deve receber um incentivo ou prêmio por tal atitude, diferenciando-se daqueles agentes sociais que impactem negativamente o meio ambiente. Sob essa nova lógica já aparecem algumas iniciativas no país, como é o caso do ICMS Ecológico do Estado de Minas Gerais, pelo qual um dos critérios de distribuição de recursos aos municípios mineiros é o cuidado com o meio ambiente. Na legislação que trata do assunto, a Lei Estadual 13.803, de 27/12/2000, art.1º., VIII, os municípios que tratam seus esgotos sanitários, dispõem de tratamento adequado para o lixo urbano, bem como têm em sua área unidades de conservação federal, estadual, municipal ou mesmo particular, recebem compensação financeira por tais iniciativas (MINAS GERAIS, 2007).

Toda essa discussão acerca dos serviços ambientais encontra ressonância nos órgãos decisórios nacionais, sendo motivo de estudos e muito possivelmente de normatização em breve. Segundo Negret (2007), por iniciativa do Ministério do Meio Ambiente, um Grupo de Trabalho trabalha na proposta de uma Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais, em cujo artigo 1º encontra-se a seguinte apresentação: "Esta lei dispõe sobre a política nacional de serviços ambientais em que se estabelece os mecanismos de pagamento, cria o Programa Nacional de Serviços Ambientais e o Fundo de Incentivo à Conservação para o Desenvolvimento Sustentável".

A atual sensibilidade política e social reinante para com o tema ambiental cria um clima favorável à adoção de instrumentos econômicos utilizando o Princípio Protetor-Recebedor. Entretanto, tal predisposição política favorável não é condição suficiente para que isto seja implementado, caso não se crie e consolide uma base de informações técnicas e científicas consistentes e capazes de dar confiabilidade à existência e à avaliação de benefícios reais à população, alcançados mediante o incentivo aos serviços ambientais que os proporcionam. A criação e manutenção de cadastros atualizados e confiáveis de áreas protegidas, Unidades de Conservação, áreas verdes, e atividades agrícolas ou de uso alternativo do solo que mereçam ser

remuneradas é uma condição prévia fundamental. Esses cadastros são o ponto de partida para a quantificação e distribuição dos benefícios econômicos decorrentes dessas atividades. Nesses estudos também é fundamental uma infraestrutura de produção e disseminação de informações, demandando um maior conhecimento da qualidade ambiental envolvida, das fontes de poluição presentes e de seus efeitos, para que se possa medir os custos econômicos associados, indicar as alternativas de controle e seus custos, bem como a relação custo-benefício das atividades consideradas como geradoras de serviços ambientais.

Os serviços ambientais podem ser compensados não apenas com recursos em dinheiro, mas também por meios alternativos, tais como obras públicas de interesse das comunidades, equipamentos específicos de apoio à produção de grupos de agricultores, facilidades na aquisição de máquinas e implementos, programas permanentes de assistência técnica, acesso facilitado e privilegiado ao crédito e isenção ou redução de tarifas diversas.

A questão de elencar os bens ambientais, bem como sua mensuração e valoração ainda é motivo de debate no meio científico, político, ambiental e econômico. Estamos longe do consenso, cabendo à comunidade científica contribuir com o debate, realizando pesquisas básicas e aplicadas para subsidiar a tomada de decisões e o desenvolvimento/aperfeiçoamento de políticas públicas.

A transformação dos biomas brasileiros pela agricultura

Em virtude de sua grande extensão territorial, 8,5 milhões de km², e das variações geomorfológicas e climáticas, o Brasil apresenta grande variedade de cobertura vegetal, de fauna silvestre e de solos, o que confere ao país a maior diversidade ambiental do Planeta (Figuras 3 e 4).

O desenvolvimento da agricultura brasileira, desde a época do descobrimento, com a modernização da agricultura, não tem respeitado essa diversidade ambiental, utilizando práticas de manejo globais em todos os biomas para resolver problemas locais. Esse processo está ligado ao “controle” das práticas agrícolas pela indústria e pelo mercado, acarretando a simplificação do processo produtivo da

escolha da cultura a ser plantada até a tecnologia utilizada. Isto tem proporcionado o surgimento e a consolidação das agroindústrias e do agronegócio, favorecendo tecnologicamente as culturas voltadas para a exportação, o que encontra respaldo na necessidade de desenvolvimento econômico, enquanto a questão ambiental nem sempre é considerada. Grande parte das ações no campo brasileiro tem se caracterizado por intervenções voltadas a solucionar problemas conjunturais, numa visão de curto prazo, focada na demanda de mercado (muitas vezes não o mercado interno) e na rentabilidade imediata, com práticas e medidas muitas vezes incongruentes entre si e, seguramente, inconsistentes com um horizonte temporal mais longo. Alguns exemplos das consequências sociais desse tipo de processo já são registrados no mundo. Atualmente, cerca de 33 países estão à beira da instabilidade social (ALTIERE, 2008), devido à falta e ao preço dos alimentos, resultado direto do atual modelo industrial de agricultura dependente do petróleo.

Um exemplo atual desse processo de instalação da agricultura sem considerar os aspectos de sustentabilidade ambiental, ocorre nas áreas de avanço sobre a Amazônia, onde a agricultura brasileira promove o desflorestamento, seguido do cultivo de arroz, soja/milho e pecuária. Essa sistemática é bastante expressiva em algumas regiões, havendo modificação na sequência e no tipo de cultura. De forma geral, a pastagem é instalada quando o solo não possui capacidade de suportar o cultivo de culturas mais exigentes ambientalmente. Embora haja disponíveis uma grande gama de conhecimentos acerca de procedimentos e alternativas para um melhor uso do solo, frente à enorme quantidade de terras já utilizadas, sendo muitas já abandonadas ou mesmo degradadas, vemos, quase impotentes, como o chamado “desenvolvimento” avança sobre parte importante de nosso patrimônio natural.

Com relação aos nossos solos, vê-se que os Latossolos, seguidos dos Argissolos, dominam o território brasileiro (Figura 5). Essa aparente predominância de “apenas” duas classes de solos faz com que grande parte das práticas de fertilização e manejo das culturas seja utilizada do Oiapoque ao Chuí. Encaram-se as realidades locais e regionais como semelhantes, adotando modelos prontos e de aplicação geral. As consequências ambientais desse procedimento são

preocupantes, ocorrendo sérios problemas relacionados à erosão, redução dos recursos hídricos e sua contaminação com nutrientes e agrotóxicos, redução da capacidade produtiva dos ecossistemas agrícolas, redução da biodiversidade e aumento da necessidade de fertilização dos solos e uso de agrotóxicos.

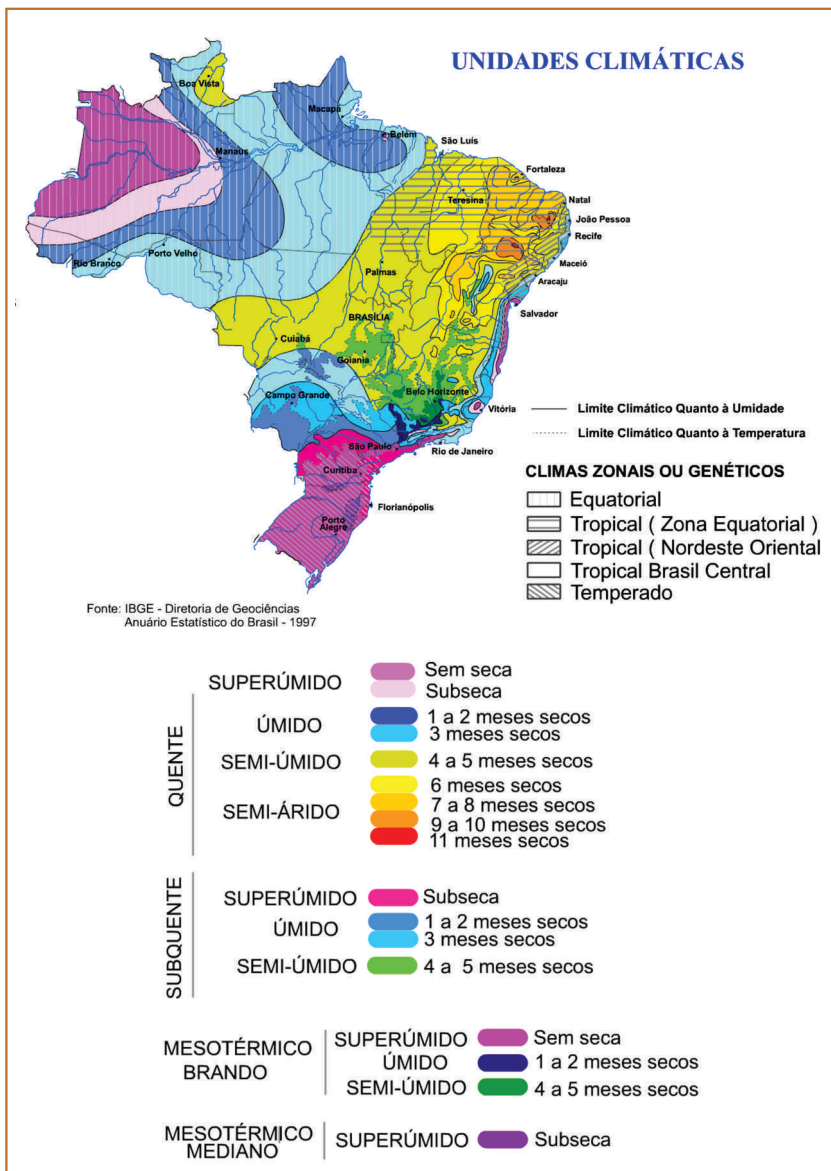


Figura 3. Unidades climáticas do Brasil.
 Fonte: IBGE (2008b).

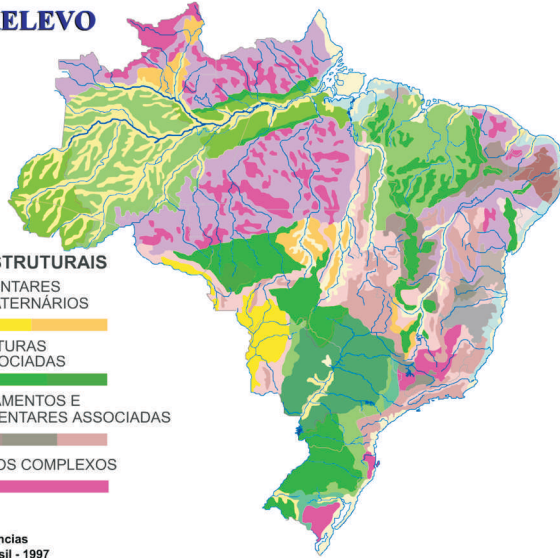
UNIDADES DE RELEVO

DOMÍNIOS MORFOESTRUTURAIS
 DEPÓSITOS SEDIMENTARES
 INCONSOLIDADOS QUATERNÁRIOS

BACIAS E COBERTURAS
 SEDIMENTARES ASSOCIADAS

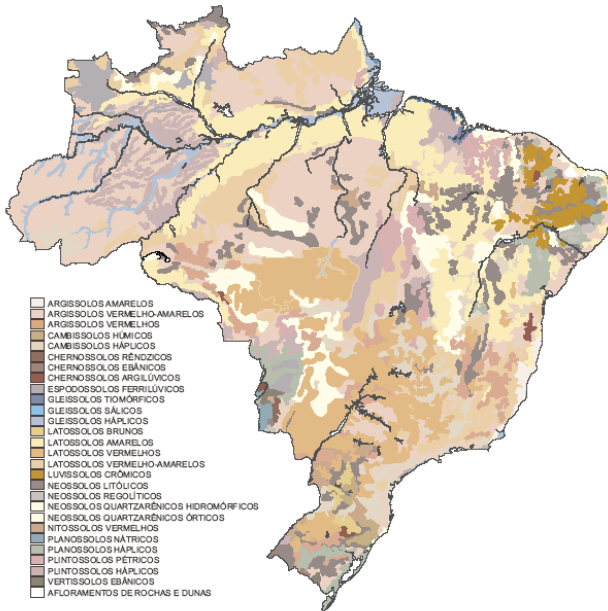
FAIXAS DE DOBRAMENTOS E
 COBERTURAS METASSEDIMENTARES ASSOCIADAS

EMBASAMENTOS EM ESTILOS COMPLEXOS



Fonte: IBGE - Diretoria de Geociências
 Anuário Estatístico do Brasil - 1997

Figura 4. Unidades climáticas e de relevo do Brasil: diversidade natural que proporciona diversidade de conhecimentos e diversidade de atitudes para um melhor uso das terras
 Fonte: IBGE (2008b).



Adaptado de Atlas nacional do Brasil (2000).

Figura 5. Principais solos brasileiros: conhecendo suas características e condições locais, o seu uso e manejo são facilitados, permitindo mais respeito ao meio ambiente, bem maior da sociedade.

Fonte: (IBGE, 2001).

A comunidade científica tem procurado responder às demandas e preocupações sociais com a produção de conhecimento para melhorar o manejo e uso dos solos. Contudo, as ações práticas são tímidas frente à grande necessidade de frear o processo de degradação dos recursos ambientais. Nesse contexto, ganham força medidas como as adotadas no sistema plantio direto em expansão, que são bem vindas, se respeitadas as características ambientais e implementadas ações concretas quanto à utilização diversificada de culturas, à cobertura constante dos solos, à redução/eliminação do uso de herbicidas e à otimização do uso de fertilizantes. Outras práticas agrícolas vêm apresentando grande potencial para atender às demandas sociais e ambientais atuais, como é o caso dos sistemas agroecológicos agroflorestais e orgânicos. Nesses sistemas, busca-se a preservação da biodiversidade local e regional, de forma a permitir o oferecimento de Serviços Ambientais pela atividade agrícola.

Serviços ambientais e o manejo dos solos

O uso inadequado dos solos pode causar sua impermeabilização, erosão, queda de produtividade agrícola, aumento da necessidade de insumos externos e degradação de recursos hídricos, afetando quantidade e qualidade das águas, aumento da emissão de gases de efeito estufa, incremento de gastos com investimentos públicos em obras de infra-estrutura e a deterioração de áreas urbanas. Por isso, é imprescindível incentivar a implementação de políticas que visem à otimização do recurso natural solo na agricultura. O debate sobre como a agricultura pode produzir Serviços Ambientais à sociedade é de fundamental importância por discutir e ampliar o papel da agricultura em atender a demanda na produção de alimentos e energia.

A agricultura merece ser encarada não somente como fornecedora de alimentos, fibras, carnes e bioenergia, mas também como responsável pela produção e manutenção de bens ambientais de interesse de toda a sociedade. Um agricultor que adota práticas de manejo e conservação do solo e da água, protege suas nascentes, protege e mantém Áreas de Preservação Permanente (APP) e de reserva legal, utilizando boas práticas na sua produção agrícola, merece

algo mais que o reconhecimento pelo trabalho que todos deveriam fazer, mas não fazem. Essa realidade se torna mais injusta quando analisamos os custos envolvidos em algumas dessas práticas. Tomemos como exemplo aqueles agricultores que investem em plantios em curva de nível, que cercam e mantêm APP. Os recursos a serem desembolsados pelo produtor rural são consideráveis, mas somente ele os desembolsa, enquanto os benefícios ambientais são de toda a sociedade. Se todos desejam os bens ambientais, por que não a sociedade arcar com esses custos? É fácil o discurso de criticar um agricultor que não cerca suas nascentes, como determina a legislação ambiental, mas o custo do metro linear de cerca, considerando arames, mourões e mão-de-obra para sua execução é elevado? Todos desejam e exigem que não falte água nas torneiras de casa, por que não recompensar aqueles que produzem este bem precioso, a partir da conservação dos mananciais e do adequado uso e manejo do solo? O mesmo raciocínio vale para outros serviços ambientais prestados pelo setor rural brasileiro.

Alguns bens ambientais como a produção de água doce com qualidade e quantidade, a manutenção da biodiversidade, o favorecimento aos polinizadores, o sequestro/armazenamento de carbono e a redução na produção de sedimentos podem ser incrementados diretamente pela otimização e adequação das práticas de manejo e conservação de solos. Independente do bem ambiental a ser gerado, torna-se relevante considerarmos a constante busca por práticas de manejo do solo que envolvam:

- a) sistema de plantio direto associado à rotação de culturas, sem ou com uso mínimo de herbicida;
- b) sistemas agroflorestais, principalmente os sistemas múltiplos com árvores nativas;
- c) sistemas agrosilvipastoris, utilizando, além de árvores, leguminosas consorciadas com gramíneas;
- d) sistemas orgânicos agroecológicos, com redução no uso de insumos externos na propriedade e utilizando cultivo múltiplo de culturas de hábitos diferentes.

Sempre que possível e necessário, devem ser adotadas medidas mecânicas como plantio em curva de nível e construção de terraços,

bem como a manutenção de cobertura permanente do solo e monitoramento dos teores de matéria orgânica. O respeito à aptidão agrícola das terras e o planejamento das atividades rurais também não devem ser esquecidos para o melhor uso e manejo do solo.

Outra questão relevante é: “como se pode mensurar o efeito da atividade agrícola sobre um determinado bem ambiental?” Como exemplo, tomemos o caso da perda de solo que atinge as terras agrícolas em diversas partes do mundo. A produção de sedimentos pela atividade agrícola está diretamente associada com a erosão e produção de água. É esperado que sistemas com menores taxas de erosão produzam menor quantidade de sedimentos e possuam melhores taxas de infiltração de água no solo, o que, por conseguinte, eleva a capacidade de armazenamento de água no perfil do solo. O ponto central é como medir esse efeito de forma objetiva e precisa para que a sociedade tenha confiança que esse bem está sendo proporcionado. Aí entra a experiência acumulada da Ciência do Solo na avaliação de diferentes práticas de manejo, a qual pode ser facilmente verificada na literatura científica. Falta à comunidade acadêmica traduzir todo o conhecimento acumulado em linguagem acessível ao público leigo, agricultor e sociedade em geral. Há *know-how* para: trabalhar com microbacias hidrográficas, e não somente uma área específica dentro da propriedade; selecionar os principais drenos para avaliação; avaliar a qualidade (presença de sólidos totais, fixos, voláteis e sedimentáveis, nutrientes como N, P, Ca e Mg, DBO, DQO, e oxigênio dissolvido, agrotóxicos, pH, condutividade elétrica, turbidez, microorganismos patogênicos, e outros) e quantidade de água (vertedouros e outros mecanismos diversos, acoplados ou não a sistemas automáticos para o registro da variação temporal da vazão) e avaliar o número e densidade de nascentes na microbacia. Diretamente relacionado ao recurso natural solo, domina-se a avaliação de escoamento lateral e produção de sedimentos; a avaliação da qualidade física do solo, em especial em seus aspectos relacionados à porosidade, permeabilidade, resistência à penetração e agregação do solo; os métodos de avaliação da cobertura do solo; as avaliações da química e da biologia do solo, que controlam o estabelecimento da vegetação e dos organismos do solo.

A partir destes tipos de dados, podemos propor índices que traduzam os ganhos ambientais de práticas agrícolas, dentro do

próprio conceito de qualidade do solo, já exaustivamente avaliado em muitas publicações, ou mesmo considerando aspectos específicos da qualidade ambiental. Um exemplo disto é o Índice de Valoração de Mananciais (GUIMARÃES, 2007), que integra os componentes: a) produção de água, b) controle de erosão, e c) manutenção da qualidade de água, conferindo pontuação relativa à qualidade ambiental da área avaliada em relação a uma área natural. O referido índice permite estipular um valor a ser concedido a título de prêmio relacionado a cada componente, e que será parcelado e sujeito a monitoramento periódico para fins de verificação da continuidade dos bens produzidos.

Considerando os recursos hídricos, mas com plena conexão com o recurso natural solo, destaca-se também o Programa “Produtor de Água”, conduzido pela Agência Nacional de Águas (ANA), e que objetiva a conservação de mananciais estratégicos, por meio do pagamento de uma compensação financeira aos produtores rurais, decorrente dos benefícios proporcionados pelos critérios de abatimento da erosão e sedimentação na bacia (CHAVES et al., 2004), a ser detalhado no capítulo 6, da parte 4.

Outro exemplo da recompensa por serviços ambientais é o mercado de carbono, iniciado por volta de 1996, na Inglaterra, e que pode ser considerado um dos mais desenvolvidos e promissores na atualidade. Os preços podem variar de US\$ 1,00 a US\$ 40,00 por tonelada de CO₂ equivalente (crédito de carbono), dependendo do projeto. CO₂ equivalente é a unidade de referência utilizada para fins de cálculo das emissões de gases, estando relacionada à diferente reatividade dos compostos quanto à retenção dos raios infravermelho e o aumento do efeito estufa. Entretanto, a recompensa para esses casos não é sempre a mesma, dependendo da natureza do empreendimento. Por exemplo, quando uma empresa ou proprietário promove o reflorestamento em um local degradado por suas próprias atividades, os créditos de carbono obtidos serão menos valorizados do que aqueles provenientes da instalação de um equipamento de alta tecnologia para, reduzir a emissão de gases poluentes.

Nessa discussão acerca dos efeitos das atividades humanas sobre o clima global, também aparecem os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL), que podem ser considerados uma modalidade de serviço ambiental, uma vez que visam a manutenção dos

bens e serviços gerados pela natureza, no caso, manter os níveis de emissões de gases de efeito estufa em padrões compatíveis com a sustentação da vida, no que se refere a seus impactos sobre o clima local, regional ou global. Para que sejam considerados elegíveis no âmbito do MDL, os projetos devem observar alguns critérios fundamentais, entre os quais o da adicionalidade, pelo qual uma atividade deve, comprovadamente, resultar na redução de emissões e, ou, remoção de CO₂, adicional ao que ocorreria em sua ausência. Além disso, a iniciativa deve ser capaz de trazer benefícios reais, mensuráveis e de longo prazo relacionados à mitigação da mudança climática.

O Brasil ocupa o terceiro lugar em número de projetos de MDL, com 285 projetos em alguma das diversas fases de tramitação. A líder mundial de iniciativas é a China, com 1.133 projetos, seguida da Índia, com 934 projetos. Dos 3.297 projetos em andamento, 1.039 já cumpriram todas as etapas, sendo registrados pelo Conselho Executivo do MDL, vinculado à Organização das Nações Unidas (ONU). No item redução de emissões projetadas, o Brasil aparece também em terceiro lugar, com a redução de 284 milhões de toneladas de CO₂, ou cerca de 7% do total mundial, para um horizonte entre sete e dez anos. A China é líder nesse quesito, com 2,0 bilhões de toneladas de CO₂, seguida da Índia, com cerca 1,0 bilhão. O maior número de projetos brasileiros é desenvolvido na área de energia renovável (49% do total), seguido pela suinocultura (16%) e troca de combustível fóssil (14%) (BRASIL, 2008).

Decorrente da dificuldade de se mensurar adequadamente o carbono, da forma como expressar os resultados obtidos e de como garantir o tempo de preservação desse carbono, ainda está aberto o debate acerca do mercado de estoque de carbono no solo. A dificuldade de mensuração reside no fato de que os métodos de determinação de carbono orgânico utilizados pela maioria dos laboratórios não é o de referência. As dificuldades quanto à forma de expressão dos resultados refere-se a falta de consenso acerca da utilização ou não da densidade natural do solo sob manejo ou do solo sob vegetação de referência. Já a dificuldade na garantia ou certificação quanto ao tempo de preservação desse carbono deriva do fato do estoque no solo ser dinâmico e muito influenciado por práticas de manejo, tais como aração, gradagem, quantidade de aporte de matéria orgânica e a própria fertilização do

solo. Independente dessas dificuldades, que merecem atenção em busca de métodos e procedimentos consensuais, os cientistas do solo precisam desenvolver e aprimorar formas de se monitorar e expressar essas medições de carbono no solo, para refletir com maior acurácia possível o impacto das mudanças de manejo do solo sobre o estoque de carbono. Para aqueles agricultores que desenvolvem ou conduzem práticas mais conservadoras de carbono no sistema solo, esses dados podem permitir que lhes seja atribuído mais um serviço ambiental à sociedade.

Nos últimos anos, têm avançado de forma significativa no Brasil os trabalhos com modelos de simulação da dinâmica do carbono e do nitrogênio no sistema solo-planta. Com a construção, adaptação e validação de modelos, pretende-se sanar a dificuldade de mostrar o impacto dos sistemas de manejo sobre os estoques de carbono e nitrogênio no solo ao longo do tempo, bem como indicar o potencial dos sistemas de manejo em sequestrar/emitir gases de efeito estufa, principalmente CO₂ e N₂O. A modelagem torna-se, portanto, mais uma ferramenta à mão dos cientistas de solo para contribuir na compreensão dos processos relacionados à dinâmica destes elementos, aproveitando os dados já gerados em inúmeras publicações, para integrar resultados e avaliar cenários futuros.

Quanto aos efeitos sobre a biodiversidade e sobre os polinizadores, os serviços ambientais prioritariamente estão mais relacionados com a preservação e manutenção da flora e fauna. Embora o ambiente solo não seja muito mencionado quanto a esses aspectos, deve-se recordar que o uso e manejo adequado do solo favorecem sua qualidade, que se traduz em um ambiente de melhores condições para o desenvolvimento vegetal e dos diversos seres vivos que nele habitam. Sistemas de manejo do solo associados a práticas agroecológicas ou orgânicos favorecem a biodiversidade e, pela ausência ou limitação do uso de agrotóxicos, são ambientes propícios aos polinizadores, fundamentais para a manutenção de várias espécies vegetais. Com essa visão, os sistemas agroflorestais e os agroecológicos despontam como alternativas promissoras para a geração desses bens ambientais, principalmente, em se considerando a possibilidade de sua exploração em áreas de preservação permanente, conforme decisão recente do Conselho Nacional do Meio Ambiente, por meio da Resolução

369/2006, Art.2º, II, b (BRASIL, 2006). Tal legislação considera que essa iniciativa alia uso sustentável das terras com a preservação ambiental, consolidando harmonia entre exploração econômica e preservação e geração de bens ambientais. Alguma discussão acerca dos sistemas agroflorestais e dos serviços ambientais por ele proporcionados é apresentada em Kitamura (2003).

Uma iniciativa que busca o reconhecimento dos serviços ambientais pela adoção de práticas de manejo, é o Programa de Desenvolvimento Sócio-ambiental de Produção Familiar Rural (Proambiente), do Governo Federal. Trata-se de uma proposta ainda tímida, mas adotada em alguns Estados da Amazônia Legal, que promove a compensação dos serviços ambientais preservados, conservados ou recuperados por comunidades de agricultores familiares, extrativistas, pescadores artesanais, quilombolas e demais comunidades tradicionais. São valorizadas como serviços ambientais, a redução do desmatamento, a eliminação de agroquímicos, a redução do uso do fogo na agricultura, a preservação da biodiversidade e outros (NEGRET, 2007; FELL; TREMÉA, 2007).

No estudo da biodiversidade, aquela relacionada à vida no solo encontra grandes especialistas entre os cientistas do solo. Por meio de métodos de captura de macro, meso e microfauna, utilizando-se armadilhas do tipo *Pitfall* e Macro Sonda, ou mesmo coletando blocos de solo de dimensões conhecidas, com posterior quantificação e qualificação dos organismos capturados/coletados, pode-se avaliar a diversidade de vida presente nesse sistema natural, e que guarda boa correlação com a biodiversidade verificada sobre o solo. Esses estudos utilizam áreas de referência para efeito de comparação com a área avaliada, promovendo a coleta/captura em diferentes períodos/estações do ano. Obviamente que a intensa dinâmica em termos de quantidade e qualidade desses organismos dificulta sua valoração, mas não podemos fugir da proposição de alternativas para solucionar esse entrave. A pesquisa deve investigar quais são os fatores ambientais mais impactantes na dinâmica desses organismos em um determinado agroecossistema, de forma a definir a medição do impacto de um determinado manejo sobre a biodiversidade no solo. Outro aspecto desafiador e interessante é, ainda que todos os organismos de ocorrência apresentem função importante, determinar

quais possuem “função chave” em dado sistema, de modo que possam ser considerados imprescindíveis para a manutenção da qualidade do agroecossistema. Uma vez identificados, esses organismos podem ser utilizados na mensuração/valoração para determinar o serviço ambiental associado à biodiversidade do solo.

Características ecológicas dos biomas brasileiros e os serviços ambientais

Um dos fatores importantes para ampliarmos os serviços ambientais gerados pela agricultura é intensificar a promoção e o incentivo do manejo e conservação dos solos nos agroecossistemas, respeitando-se as características dos biomas em que a atividade agrícola ocorre. Apesar dos biomas apresentarem grande diversidade de ambientes e de solos, estes possuem características dominantes, que podem ser utilizadas para a identificação do bem avaliado e a valoração do mesmo.

Quando pensamos no clima, vemos que a Amazônia é dominada pelo clima quente, super úmido a úmido; o Cerrado pelo quente, semi-úmido; a Caatinga pelo quente, semi-árido; a Mata Atlântica pelo subquente, úmido; o Pampa pelo mesotérmico brando, superúmido; e o Pantanal pelo subquente, úmido. A combinação solo-relevo-clima faz com que a Amazônia e a Mata Atlântica apresentem naturalmente grande biodiversidade. Devido à dominância da configuração de Mar de Morros em relevo mais acidentado, a Mata Atlântica apresenta grande número de pequenas nascentes, cuja preservação é essencial para a manutenção da dinâmica desse bioma e indica a necessidade primária da preocupação com práticas de conservação do solo e da água.

Já no Pantanal, o ciclo bem definido das águas é o aspecto mais marcante para a preservação da grande diversidade de fauna. No Pampa, o inverno chuvoso e verão quente, clima sub-temperado, junto com solos rasos, o tornam um ecossistema único. Na Caatinga e Cerrado, marcados pela precipitação concentrada em alguns meses associada à baixa densidade de cobertura vegetal, faz com que a erosão seja crítica no período chuvoso.

Apesar dos mesmos bens ambientais ocorrerem em todos os biomas, vê-se que são marcantes a preocupação com a biodiversidade na Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica, a necessidade de preservação de nascentes, em especial no bioma Mata Atlântica e o controle da erosão na Caatinga e no Cerrado. A identificação dos bens ambientais em maior risco aponta prioridades para a valoração em cada bioma, visando otimizar o uso da compensação por serviços ambientais.

Considerações finais

O crescimento da demanda por alimentos e biocombustíveis irá pressionar cada vez mais a expansão das atividades agrícolas. O que prevemos é que o ressarcimento dos serviços ambientais, prestados por este setor, torne-se uma realidade em pouco tempo, o que pode ser a garantia de práticas sustentáveis na agricultura nacional. Tal alternativa é inclusive apontada pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) em seu relatório “O Estado Mundial da Agricultura e Alimentação”, publicado em 2007 (LOURENÇO, 2008). Essa possibilidade cada vez mais concreta também está presente em sites da web, como o *Ecosystem Marketplace* (www.ecosystemmarketplace.com), coordenado pelo *The Katoomba Group*.

Segundo revisão de Almeida e Presser (2006), o tamanho expressivo do mercado ambiental global (bens e serviços ambientais) é estimado em mais de US\$ 600 bilhões em 2010. Trata-se de um mercado de grandes dimensões e de crescimento acelerado. Atualmente o mercado é dominado pelos países desenvolvidos, que são responsáveis por 79% e 60% das exportações e importações mundiais de bens ambientais, respectivamente. Contudo, países como o Brasil, que deverá manter uma taxa de crescimento anual desse mercado de 1 a 12% até 2010, já começam a superar alguns países desenvolvidos.

Neste novo cenário, cabe aos cientistas de solo aprimorar as técnicas de medição e valoração de serviços ambientais, relacionados com características de solo como estoque de carbono, dinâmica da água no solo, conservação de solo e biodiversidade. Não se deve esquecer que ainda há grande espaço para a melhoria das técnicas de manejo, e que sistemas ecologicamente promissores, como os sistemas

agroflorestais, merecem ser mais estudados a fim de seu uso ser incrementado nos diferentes biomas brasileiros. Esforços nesse sentido e em direções semelhantes têm sido realizados por vários grupos de pesquisa no país.

O desafio está lançado. Propostas para o avanço no conhecimento nesta área não são inéditas. É preciso aproveitar o domínio sobre diferentes aspectos da ciência do solo para rearticular o discurso, repensar objetivos em futuros projetos de pesquisa, reavaliar dados já obtidos no passado, e juntos com os demais segmentos da sociedade, propor nova dimensão para os bens ambientais. Aqueles que trabalham com o sistema solo, são privilegiados pela possibilidade de estudar e conhecer um recurso natural que interage com vários compartimentos ambientais e que, dentre outras possibilidades, participa do fluxo natural das águas no planeta, serve de substrato para as edificações humanas, permite o desenvolvimento vegetal que alimenta o planeta, abriga parte considerável de uma biodiversidade ainda pouco conhecida pela maioria das pessoas, e que acumula carbono contribuindo ao equilíbrio global. É necessário utilizar os conhecimentos, experiência e competências para contribuir na discussão dos serviços ambientais, inclusive na formulação de propostas de caracterização, monitoramento e compensação destes serviços. Os cientistas do solo muito podem oferecer à sociedade neste momento em que o mundo parece ter cada vez mais consciência da importância de valorizar os bens ambientais que garantem a existência e qualidade de vida humana.

Referências bibliográficas

ALMEIDA, L. T.; PRESSER, M. F. Bens e serviços ambientais e as negociações na OMC. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, Belaterra, v. 5, p. 1-11, 2006. Disponível em: <http://www.redibec.org/IVO/rev5_01.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2008.

ALTIERE, M. A. **A falência de um modelo: sistema alimentar na era pós - petroleira** . 2007 . Disponível em: <<http://www.ecodebate.com.br/index.php/2008/04/30/afalencia->

de-um-modelo-sistema-alimentar-na-era-pos-petroleiraartigo-de-miguel-a-altieri/>. Acesso em: 10 mai 2008.

CHAVES, H. M.; BRAGA, B.; DOMINGUEZ, A. F.; SANTOS, D. G. dos. Quantificação dos benefícios e compensações do “Programa do Produtor de água” (ANA): I Teoria. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.9, n. 3, p.5-14, jul./set., 2004.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n. 369 / 2006**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=489>>. Acesso em: 08 mai 2008.

FELL, E. T.; TREMÉA, E. M. **O princípio do protetor-recebedor e o Proambiente**: limites e possibilidade da compensação financeira. 2007. Disponível em: <http://www.ambito-juridico.com.br/site/index.php?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=2482#>. Acesso em: 10 mai 2008.

GUIMARÃES, J. Fundação Boticário de Proteção Natureza: projeto Oásis. In: SEMINÁRIO MATA ATLÂNTICA E SERVIÇOS AMBIENTAIS, 2007, São Paulo. [Anais...]. São Paulo; Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, 2007. Disponível em: <http://www.rbma.org.br/mercadomataatlantica/pdf/sem_ma_serv_amb_09.pdf>. Acesso em: 07 mai 2008.

IBGE. **Mapa de solos do Brasil**. Escala 1:5.000.000. Rio de Janeiro: IBGE. 2001.

IBGE. **Manual técnico auxiliar no planejamento do uso sustentável dos solos**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1056&id_pagina=1>. Acesso em: 10 mai 2008.

IBGE. **Mapa de biomas**. Disponível em:<http://www.ibge.gov.br/home/Presidencia/noticia_visualiza.php?id_noticia=169&id_pagina=1>. Acesso em: 10 mai 2008a.

IBGE. **Mapa de unidades climáticas**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartogramas/clima.html>>. Acesso em: 10 mai 2008b.

IBGE. **Mapa de unidades de relevo**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartogramas/relevo.html>>. Acesso em: 10 mai 2008c.

KITAMURA, P. C. **Valoração de serviços ambientais em sistemas agroflorestais: métodos, problemas e perspectivas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Kitamura_Valoracao_IDUTXMUZ4w6e.pdf>. Acesso em: 13 mai. 2008.

LOURENÇO, L. **Relatório das Nações Unidas defende pagamento por serviços ambientais**. Disponível em: <<http://www.agenciabrasil.gov.br/noticias/2008/04/02/Materia.20080402.2724471340/view>>. Acesso em: 13 mai. 2008.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Fazenda. **Lei 13.803 de 27 de dezembro de 2000**. Dispõe sobre a distribuição da parcelada receita do produto da arrecadação do ICMS pertencente aos municípios. Disponível em: <http://www.fazenda.mg.gov.br/governo/assuntos_municipais/legislacao/leiestadual13803_00.htm>. Acesso em: 13 maio 2008.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Status atual das atividades de projeto no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil e no mundo**. 12 p. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0024/24390.pdf>. Acesso em: mai. 2008.

00

NEGRET, F. **Brasil: compensação dos serviços ambientais aos agricultores familiares e inclusão social**. Fortaleza: [Adital], 2007. Disponível em: <<http://www.adital.com.br/site/noticia.asp?lang=PT&cod=28063>>. Acesso em: 10 mai 2008.

RIBEIRO, M. A. O princípio protetor recebedor para preservar um bem natural. **Revista ECO 21**, Rio de Janeiro, p. 1-8, 2007. Disponível em: <<http://www.ida.org.br/artigos/principioprotetor.html?ordem=1792>>. Acesso em: 10 mai 2008.

00

Ademir Calegari

Antônio Costa

Introdução

O uso indevido dos recursos naturais com a exploração intensiva das áreas agrícolas, através de preparo convencional do solo, aração e gradagens, queima dos resíduos vegetais, e pouca adição de carbono orgânico; seguido, em geral, da não reposição adequada de nutrientes, perdidos pela ocorrência da erosão ou extraídos pelas colheitas; tem contribuído para degradação dos solos ao longo dos anos e para a diminuição gradativa da fertilidade e da capacidade produtiva das terras agrícolas do Estado do Paraná e também de outros estados brasileiros.

Normalmente, nas áreas que são mantidas sem cultivo ou vegetação, as perdas dos nutrientes por lixiviação, ou mesmo por sedimentos ou em suspensão na água, através das enxurradas, são bem menores em relação a uma área com cultivo.

Quando o solo se encontra com cobertura vegetal, a perda de solo e água é menos intensa, ocorre reciclagem dos nutrientes através das raízes das diferentes espécies de plantas melhoradoras de solo, cujos resíduos contribuirão para a manutenção e/ou recuperação da matéria orgânica do solo agrícola. A matéria orgânica é responsável pela maior parte da CTC dependente de pH dos solos brasileiros, influenciando diretamente em várias características edáficas e alterando o ambiente a ser explorado pelas raízes das culturas. Este fato promove, conseqüentemente, benefícios na relação solo-água-planta. Inúmeras vantagens podem advir do uso dessa prática. As mais perceptíveis aos produtores são aquelas de efeito imediato, tais como:

economia de fertilizantes nitrogenados; diminuição da necessidade do uso de herbicidas no controle das invasoras, com consequente economia de mão-de-obra e insumos; maior estabilidade de produção e maiores produtividades.

Por outro lado, a constatação de que o efeito estufa provoca mudanças climáticas e que elas podem proporcionar alterações na distribuição e volume de precipitação, com previsão de diminuição do número de eventos e aumento na intensidade de chuvas, predispõe a atividade agropecuária a riscos ainda maiores de erosão, com consequente perda de solo, de água e de nutrientes e diminuição da produtividade agrícola. Esse quadro se agrava na prática da agricultura convencional, que tem o revolvimento como característica de preparo inicial do solo. Esse processo, ao longo do tempo, provoca a redução da matéria orgânica do solo, causa primeira da degradação dos solos em regiões tropicais e responsável pela queda do rendimento na agricultura. Contrariamente, a agricultura conservacionista tem por premissa o uso de práticas que mantêm e aumentam o teor de matéria orgânica nos solos.

Trabalhos de pesquisa com diferentes espécies de plantas de cobertura de primavera/verão e outono/inverno no sistema de plantio direto, realizados em diferentes condições agroecológicas do Paraná e, muitas dessas espécies com potencial de uso no Sudeste brasileiro, têm mostrado a eficiência do uso dessas plantas no equilíbrio e melhoria dos atributos do solo. As espécies que mais se destacam são: aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), tremoços (*Lupinus sp.*), ervilhaca peluda (*Vicia villosa* L.) e comum (*Vicia sativa* L.), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), ervilha forrageira (*Pisum sativum subesp. Arvense* L.), mucunas (*Mucuna pruriens*), Crotalaria juncea (*Crotalaria juncea* L.), Guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.), capim Moha-Iapar (*Setaria italica*), caupi (*Vigna unguiculata* L.), milheto (*Penisetum americanum* Schum.), calopogonio (*Calopogonium mucunoides* L.), amendoim forrageiro perene (*Arachis pintoi* L.), e outras. Os efeitos mais pronunciados são: físicos - aumento dos índices de estabilidade dos agregados do solo (CALEGARI et al., 2008), e elevação dos níveis de infiltração de água no solo); químicos - aumento dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S e da matéria orgânica na superfície do solo e diminuição de alumínio tóxico no solo (CALEGARI, 2006); biológicos - incremento da meso-macro e micro-

fauna e flora assim como efeitos na redução de populações de fitonematóides dos efeitos alelopáticos, afetando qualitativa e quantitativamente distintas populações de invasoras (TEASDALE et al., 2007). Estes efeitos têm possibilitado um aumento nos rendimentos do milho, feijão e soja. Estimativas mostram que o plantio direto ocupa mais de 5,7 milhões de hectares no Paraná, enquanto que em todo o Brasil já são mais de 25 milhões de hectares em plantio direto¹⁵.

Define-se agricultura conservacionista como o conjunto de práticas que tem por objetivo conservar, melhorar e utilizar mais eficientemente os recursos naturais, mediante o manejo integrado do solo, da água e dos recursos biológicos disponíveis e o uso de práticas agronômicas que combinem harmonicamente métodos de conservação do solo e da água, o manejo integrado de pragas, doenças e plantas invasoras, e a visão holística da fertilidade do solo (FAO, 2002).

Preconiza-se que a agricultura conservacionista contemple as seguintes práticas agronômicas: utilizar o solo de acordo com a capacidade de uso; reduzir ou eliminar o revolvimento do solo; manter os resíduos culturais na superfície do solo; manter o solo com cobertura permanente; ampliar a diversidade de cultivos com rotação de culturas; utilizar múltiplas culturas e consórcio de culturas; utilizar adubos verdes ou plantas de cobertura de solo; diversificar os sistemas agrícolas produtivos e adotar sistemas mais complexos como sistemas agropastoris, agroflorestais e agrossilvipastoris; praticar o manejo integrado de pragas, de doenças e de plantas invasoras; fazer o controle do tráfego de máquinas e de equipamentos, assim como o uso racional de agroquímicos (DENARDIN et al., 2005).

Acrescenta-se aos requisitos acima o fato de que a microbacia hidrográfica deve ser a unidade geográfica básica das atividades na prática da agricultura conservacionista. É a microbacia uma área fisiográfica drenada por um curso d'água ou por um sistema de cursos de água conectados e que convergem, direta ou indiretamente, para um leito ou para um espelho d'água, constituindo a unidade ideal para o planejamento integrado do manejo dos recursos naturais (MACHADO; STIPP, 2003).

Das práticas preconizadas na agricultura conservacionista, aquelas relacionadas aos sistemas de cultivo - plantio direto, integração

¹⁵ FEBRAPDP. Disponível: <<http://www.febrapdt.org.br>>. Acesso em: 20 mar. 2010.

agropecuária e floresta, cultivos perenes, cultivos agroecológicos – são decisivas para o manejo e conservação do solo e da água em explorações sustentáveis de produção.

Sistematização em microbacias hidrográficas

O uso da bacia hidrográfica como unidade de trabalho busca atingir a eficácia da integração de um conjunto de práticas de manejo de solos e água, com vistas à manutenção do equilíbrio dos recursos ambientais, de modo a proporcionar um desenvolvimento adequado e sustentável das atividades agropecuárias, na área de abrangência da microbacia.

O planejamento ambiental em bacias hidrográficas vem se constituindo, nas últimas décadas, no caminho mais propício para o desenvolvimento de atividades de enfoque sistêmico na aplicação de projetos de pesquisa e desenvolvimento. O enfoque deve ser participativo na geração e validação de tecnologias adaptadas às condições agro-ecológicas e socioeconômicas das diferentes regiões, objetivando a execução de ações que visem reverter quadros de degradação ambiental. No enfoque dos trabalhos em microbacias o agricultor é o principal ator do processo. Ele poderá facilitar ou dificultar as ações a serem desenvolvidas, participando ativamente, ou não, desta concepção de trabalho, que não é individualizada e sim conjunta, através de práticas agrícolas integradas no âmbito do sistema microbacia hidrográfica (MACHADO; STIPP, 2003).

Os comitês de microbacias hidrográficas, com autoridade para planejar e administrar os recursos de forma integral, deveriam ser implementados e representariam um avanço, principalmente, onde o recurso hídrico é escasso ou mal distribuído e as necessidades de uso de água na agricultura, indústria ou centros urbanos, normalmente, são maiores. Apesar do uso e manejo dos recursos naturais em microbacias hidrográficas serem individuais, existem muitos benefícios que transcendem a unidade de trabalho e se tornam coletivos, justificando o estabelecimento de pagamento por serviços ambientais (COSTA et al., 2006).

Atualmente, além da água, principalmente pela sua escassez, nos centros urbanos e algumas áreas agrícolas, as ações desenvolvidas

para recuperação ambiental de uma área, devem contemplar o desenvolvimento de projetos que envolvam os vários elementos do ambiente como o solo, a vegetação, a fauna, de forma integrada e, proporcionando melhores resultados e racionalidade no emprego dos escassos recursos (MACHADO; STIPP, 2003).

Sistemas conservacionistas de uso do solo em cultivos anuais

A exploração contínua do solo em formas não adequadas de manejo, seja pela prática excessiva de preparo do solo, com equipamentos não apropriados ou o preparo do solo realizado em condições não adequadas (umidade elevada), ou ainda pela não observância da sequência de cultivos favoráveis à manutenção das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, tem alterado sobremaneira os seus atributos comprometendo seu potencial produtivo.

Essa forma desordenada de manejo do recurso natural tem causado queda nos níveis de matéria orgânica, seguida de reduções nos teores de nutrientes disponíveis, diminuição da atividade biológica (micro, meso e macro-fauna e flora) do solo, alterações físicas desfavoráveis que ocorrem no perfil do solo, com consequente degradação do mesmo.

O desencadeamento do processo de erosão hídrica do solo ocorre através da ação sequencial de vários fatores. Inicialmente, quando o solo não se encontra devidamente protegido por cobertura vegetal, o impacto das gotas de chuva sobre a superfície do terreno causa a desagregação das partículas do solo e o “selamento superficial”, que é o entupimento dos poros da superfície do solo, com consequente diminuição da infiltração da água no mesmo. Assim, a água poderá acumular-se superficialmente ou descer para áreas de menor declive, formando as enxurradas que causam o arrastamento das partículas que se encontram em suspensão, provocando a erosão. Quando a água escoar na superfície do solo e concentra-se em sulcos de semeadura, marcas de pneus e outros, há um substancial aumento na sua capacidade de desagregação e transporte, podendo ocorrer erosão em sulcos.

Caso a superfície do solo esteja adequadamente protegida por cobertura vegetal (verde ou morta), a energia cinética da chuva será

absorvida e o seu impacto sobre o solo será amortecido, reduzindo-se, dessa forma, os efeitos da desagregação e o arrastamento das partículas. Da mesma forma, a presença de cobertura vegetal irá contribuir para a diminuição da velocidade do escoamento superficial.

O Sistema Plantio Direto (SPD) é um sistema de exploração agrícola que envolve diversificação de culturas, por meio da rotação de culturas. Este sistema iniciou-se no Brasil com a experiência pioneira do agricultor, o Sr. Herbert Bartz, em Rolândia, norte do Paraná, em 1972, expandindo-se ao longo dos anos para outras regiões do Estado, assim como para outros estados e países. O primeiro Instituto de Pesquisa Agrícola a efetuar trabalhos de P&D, de forma sistemática, foi o IAPAR, no Paraná, e atualmente o Estado cultiva cerca de 6 milhões de hectares com SPD, constituindo-se na maior área com este sistema no Brasil.

No SPD a implantação da cultura ocorre com a mobilização do solo somente na linha de semeadura; portanto, sem revolvimento do solo. Deve-se adotar um sistema de rotação de culturas eficiente, agrônômica e economicamente, e os resíduos vegetais da cultura anterior devem ser mantidos na superfície do solo. Assim, essa modalidade de cultivo atende os requisitos de sistema conservacionista de uso do solo para cultivos anuais.

O fato do sistema plantio direto enfatizar as práticas vegetativas de conservação do solo, negligenciadas no sistema convencional, não deve significar que outras práticas, notadamente as mecânicas, não devam ser usadas em SPD. O manejo de culturas é eficiente na dissipação da energia que provoca processos erosivos. Entretanto, há limites críticos de comprimento de declive em que essa eficiência é superada, ocorrendo nesse caso, erosão hídrica (KOCHLANN et al., 2005).

A cobertura do solo por plantas vivas ou por resíduos culturais apresenta potencial para dissipar até 100% da energia cinética da gota da chuva, mas não tem a mesma eficácia na contenção da energia de cisalhamento da enxurrada. A partir de determinado comprimento de declive, a capacidade de dissipação da energia da enxurrada, pela cobertura vegetal na superfície do solo, é superada. Nessa condição, a energia de cisalhamento da enxurrada é superior à tensão crítica de cisalhamento imposta pela cobertura vegetal e pelo solo. Sendo assim

toda a prática conservacionista, capaz de manter o comprimento de declive restrito a limites em que a cobertura vegetal não perca a eficiência na dissipação da energia incidente, contribuirá para minimizar o processo de erosão (KOCHLANN et al., 2005).

Em comprimentos de declive longos, o terraceamento é uma prática que, bem planejada, soma no controle eficiente da erosão em SPD. O terraço reduz a velocidade da enxurrada e seu potencial de destruição dos agregados do solo e, portanto, a erosão, além de subdividir o volume do escoamento superficial, possibilitando a infiltração da água no solo. Desse modo, o terraceamento impede a formação de sulcos e de voçorocas e aumenta a retenção de água no solo, fator decisivo para estabilidade e aumento da produtividade agrícola.

A retirada dos terraços no cultivo em SPD teve por consequência a semeadura e as práticas culturais executadas no sentido da declividade do terreno, acentuando a formação de sulcos nesse sistema de cultivo. A eficiência do terraceamento no sistema plantio direto, entretanto, está em associá-lo a outras práticas conservacionistas como semeadura em contorno, aplicação de agrotóxicos (herbicidas, inseticidas e fungicidas) em nível, culturas em faixas, vegetação de terraços e sistemas de rotação de culturas que levem em consideração a produção de palha para cobertura do solo.

O SPD com qualidade exige planejamento de sequência de culturas no tempo e no espaço, validadas regionalmente. As combinações de culturas, devem assegurar um aporte de matéria orgânica ao solo que proporcione controle de ervas infestante, menor ocorrência de pragas e doenças, que disponibilize maior volume de água e nutrientes para os cultivos. Por conseguinte, espera-se que ocorra o aumento da produtividade do sistema de rotação (MEDEIROS; CALEGARI, 2006; BOLLIGER et al., 2006; CALEGARI et al., 2007).

A manutenção e/ou adição da matéria orgânica ao solo, através da rotação de culturas, incluindo o adequado emprego das coberturas vegetais e o manejo dos resíduos pós-colheita, tende a promover melhorias significativas no sistema produtivo ao longo dos anos, promovendo aumento dos teores de carbono do solo (Calegari et al., 2008). Também melhora o estado de agregação das partículas; aumenta a capacidade de armazenamento de água; incrementa a

biologia do solo (micro, meso e macro fauna e flora); reduz as perdas, e melhora a solubilização de nutrientes, promovendo a complexação orgânica do alumínio e manganês; aumenta a CTC do solo (dependente de pH), e contribui para o aumento da produtividade das culturas.

O sucesso do uso de plantas de cobertura como componentes do SPD, devidamente distribuídas no tempo e sequencialmente às culturas comerciais, está vinculado à combinação dos vários aspectos inerentes às coberturas vegetais com a infraestrutura disponível na propriedade e considerando as condições ambientais regionais.

O monitoramento contínuo das áreas com rotação de culturas é imprescindível para o sucesso do sistema. Assim, espécies a serem incluídas na rotação deverão ser criteriosamente selecionadas, de acordo com as condições prevalentes, ambientais e de cobertura do solo. O planejamento do sistema deve ser dinâmico. Quando as condições ambientais impõem baixa produção de massa seca de uma determinada gramínea em um período do sistema de rotação planejado, não é indicado, em sucessão, uma espécie que produza biomassa de fácil decomposição, mesmo que sua inclusão esteja prevista no cronograma de culturas. Portanto, mais do que pré-estabelecer uma sequência, o acompanhamento e o monitoramento das condições do solo são fundamentais para o êxito de um sistema de rotação de culturas.

Resultados de pesquisa e experiências de agricultores, em diferentes regiões produtoras brasileiras, têm mostrado a superioridade de rendimento dos cultivos conduzidos em SPD com rotação de culturas. Culturas como soja, milho, algodão, trigo, sorgo, arroz, têm, em diferentes sistemas produtivos regionais, apresentado produtividades superiores ao sistema convencional ou sistema de cultivo mínimo (escarificador ou gradagens), quando cultivado em SPD (DERPSCH et al., 1986; CALEGARI et al., 2007).

Uma das razões para o aumento de produtividade em SPD é a maior quantidade de água disponível para as culturas. Trabalhos de pesquisa realizados no IAPAR indicam que as rotações envolvendo pousio invernal, com desenvolvimento de vegetação espontânea, são aquelas que têm apresentado menor infiltração de água no solo, durante o desenvolvimento da cultura sequencial. Dentre uma série de espécies cultivadas no inverno com o objetivo de produção de biomassa

para cobertura do solo, a aveia preta foi a espécie que proporcionou os maiores índices de infiltração de água, noventa dias após o corte (ROTH, 1984). O mesmo resultado foi observado em sistemas de rotação por 7 anos, onde os menores índices de infiltração de água foram observados no solo deixado em pousio, indicando a necessidade de inclusão de plantas de cobertura no cronograma sequencial de cultivos (CALEGARI et al., 1995).

Atualmente procura-se manejar a produção de cultivos anuais, caracterizados pelo uso intensivo do solo, combinando conservação do solo e da água com elevadas produtividades físicas, buscando a sustentabilidade do sistema de produção a longo prazo. Assim, é necessário identificar sistemas que consigam integrar e contribuir para uma maior biodiversidade, diversificação na produção, uso, reciclagem e melhor aproveitamento de nutrientes e corretivos, manutenção e recuperação dos atributos do solo (químicos, físicos e biológicos). Dessa forma, a integração das práticas sistematizadas, permite avanços não apenas na agricultura como um todo, como também nas condições socioeconômicas dos produtores rurais.

A experiência de produtores na região dos Cerrados tem mostrado a viabilidade do uso da rotação de culturas, com inclusão de plantas de cobertura, como práticas que diminuem o foco de pragas, doenças e nematóides, proporcionam maior controle na população de invasoras, diminuem a necessidade de fertilizantes químicos, principalmente o nitrogênio, baixando assim os custos de produção e promovendo o aumento no rendimento das diferentes culturas. Nas Tabelas 1 e 2, pode-se observar alguns resultados obtidos por produtores sobre o uso de leguminosas e outras espécies, individuais ou em coquetéis, visando a melhoria e maior equilíbrio do sistema.

Tabela 1. Resultados obtidos com a cultura do feijão em rotação com plantas de cobertura.

Produtor	Safra	Local	Área (ha ⁻¹)	Feijão anterior	Sacas (ha ⁻¹)	Pl. de Cob.	Feijão posterior	Sacas (ha)	Aumento produtividade (%)
Milton Zancanaro	2003/04	Rio Verde - GO	80	Preto	27	crotalaria juncea	Perola	48	77
*Milton Zancanaro	2006/07	Cristalina - GO	116	Perola	40	C. juncea	Perola	52	30
Milton Zancanaro	2008/09	Cristalina - GO	180	Perola	38	C. spectabilis	Perola	53	39,5
Darci Fiorese	2008/09	Niquelândia-GO	100	Perola	37	C. ochroleuca	Perola	56	51

Fonte: Agrosistemas (informação pessoal)¹⁶ - trabalhos desenvolvidos em áreas de produtores.

¹⁶ FEBRAPDP. Disponível: <<http://www.febrapdt.org.br>>. Acesso em: 20 mar. 2010.

Produtores de várias regiões dos Cerrados, utilizando adequadamente o solo, obtiveram resultados promissores com a cultura do milho (Tabela 2), sob SPD em áreas com rotação de diversas plantas de cobertura, entre elas o coquetel (mix) com espécies de inverno (aveia, nabo) e também com mix de espécies de primavera/verão (milheto, crotalarias, trigo mourisco ou trigo sarraceno - *Fagopirum esculentum*), entre outras.

Tabela 2. Produção de Milho em algumas propriedades da região do Planalto Central: Noroeste de MG, Nordeste de GO, DF - Altitude Média de 950 m.

Produtor	Propriedade	Sistema de cultivo	Área (ha ⁻¹)	Kg ha ⁻¹	Safra
Lauri Pooz	F.Sete Irmãos	Irrigado	100	12.240	2007
Lauri Pooz	F.Sete Irmãos	Irrigado	80	13.020	2008
Milton Zancanaro	F.Vista Linda I	Sequeiro	250	12.660	2007
Alexandre Marchese	F. João de Barro	Sequeiro	270	12.960	2009
Milton Zancanaro	F. N. S. Fátima	Sequeiro	180	12.600	2010

Fonte: Agrosistemas (Informação Pessoal).

Observa-se pelos resultados que o SPD conduzido adequadamente, com a inclusão de plantas de cobertura na rotação de culturas, ao longo dos anos tende a promover melhoria dos atributos do solo (químicos, físicos e biológicos), maior controle dos processos erosivos, diminuição dos custos de produção e ao mesmo tempo, aumento considerável da produtividade das culturas.

Sistemas conservacionistas de uso do solo em cultivos perenes

Trabalhos de pesquisa realizados no Brasil têm comprovado a eficiência do uso de plantas de cobertura de outono/inverno e/ou primavera/verão intercaladas à diferentes culturas perenes como cafeeiro, citrus e videira. O uso das diferentes plantas tem promovido benefícios ao solo e aumentado o rendimento das culturas. Esta prática

tem proporcionado diminuição da erosão do solo, menor incidência de plantas invasoras, aporte de nitrogênio ao sistema quando se utiliza leguminosas, reciclagem de nutrientes, aumento no vigor das plantas e aumento na produtividade das plantas cultivadas (NAZRALA; MARTINEZ, 1976; DAL BÓ; BECKER, 1987; CALEGARI et al., 1993).

Diversas alterações no solo, através do uso de cobertura vegetal com diferentes espécies de plantas gramíneas, leguminosas e de outras famílias, quer seja em cultivos individuais ou em associação/consórcio (coquetéis) juntamente com o não preparo do solo, têm contribuído para a melhoria ambiental, favorável ao crescimento de diferentes espécies frutíferas. Tem sido observado, através de resultados de pesquisa, que elevadas produtividades estão diretamente relacionadas às maiores profundidades exploradas pelos sistemas radiculares das plantas. Foi ainda observado que existe uma estreita relação entre níveis de desenvolvimento do sistema radicular e a produtividade destas culturas (OLIVEIRA, 1991).

Resultados obtidos por Dal Bó (1989) apud Calegari et al. (1993) em Videira – SC mostraram que a presença de cobertura perene do solo competiu com a videira e reduziu sua produção. A ervilhaca comum dessecada no início da brotação da videira, promoveu a mineralização dos resíduos e conseqüente aumento na disponibilidade de nitrogênio e outros nutrientes, justificando os maiores rendimentos de uva. Por outro lado, quando a leguminosa vegetou por um maior tempo esse fato não ocorreu, havendo ainda, competição por água entre as plantas. O solo mantido descoberto, prática não recomendada em sistema conservacionista do solo, apresentou maior rendimento da videira, quando esse tratamento foi comparado à área com vegetação nativa roçada.

Os resultados acima, assim como outras experiências de agricultores, sugerem que o uso de plantas de cobertura de inverno deve ser conduzido de forma a não promover competição com a videira e, o manejo do nitrogênio também deve ser priorizado em razão da elevada resposta da videira a esse nutriente. No início da brotação da videira, o solo não deve estar coberto por invasoras ou plantas de cobertura, por ser este um período crítico de exigência de água e nutrientes. Dessa forma, uma alternativa de manejo da cobertura vegetal perene sobre a área da mesma videira seria manejar as plantas

próximas às linhas da videira (40 a 60 cm de cada lado da linha de plantas de uva). O manejo pode ser mecânico: gadanha, foice, roçadeira, e outros, ou ainda através de herbicidas dessecantes.

Pesquisas desenvolvidas no Paraná demonstraram que a massa vegetal dos adubos verdes incorporada ao solo reduz os teores de Al trocável (MIYAZAWA et al., 1993), aumenta o pH e a agregação das partículas do solo, melhorando sua capacidade produtiva (PAVAN et al., 1995; GOMES; CHAVES, 1994), bem como reduz a lixiviação do NO_3^- (PAVAN; CHAVES, 1998).

Verifica-se que algumas espécies, particularmente as de crescimento rasteiro, se desenvolvem mais rapidamente e promovem melhor proteção ao solo em relação às de crescimento ereto ou semi-ereto. As espécies rasteiras são mais adaptadas para as lavouras cafeeiras implantadas em sistemas tradicionais de cultivo, enquanto as semi eretas são mais indicadas para as lavouras implantadas nos sistemas medianamente adensado e adensado (CHAVES, 2005). As leguminosas de crescimento ereto são indicadas para lavouras super adensadas. Áreas com relevo ondulado a montanhoso, onde os prejuízos causados pela erosão sempre são maiores, as espécies de crescimento rasteiro e com maior velocidade de cobertura são mais indicadas.

De outro lado, adubação verde com plantas fixadoras de nitrogênio atmosférico (N_2) é uma das formas mais eficientes e econômicas de fornecimento desse nutriente para as plantas. Por essa razão essa prática deveria compor mais ativamente os diversos sistemas de produção (CHAVES, 2005).

Estes resultados demonstram a viabilidade da prática de adubação verde e a possibilidade de redução do uso de nitrogênio mineral nas culturas comerciais e, assim, diminuir a dependência do produtor pelo fertilizante industrializado, bem como os custos de produção. Os adubos verdes proporcionam pelo menos duas grandes vantagens à lavoura comercial: cobertura do solo e fornecimento de nutrientes. O cafeeiro tem uma demanda nutricional maior no período que coincide com o máximo desenvolvimento vegetativo e com o crescimento vigoroso dos frutos, aumentando significativamente nos anos de grande produção. Após o corte, toda massa vegetal deixada na superfície do solo, rapidamente se decompõe disponibilizando os

nutrientes ao cafeeiro, em virtude da baixa relação C/N e da grande atividade biológica nesta época, da umidade e da temperatura elevadas (COLOZZI FILHO, 1999; CHAVES; CALEGARI, 2001).

A forma de utilização dos adubos verdes nos diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro obedece a uma regra simples e eficiente, lavouras tradicionais de café (espaçamentos largos) devem receber, preferencialmente, adubos verdes de crescimento rasteiro e lavouras adensadas, adubos verdes de crescimento ereto ou semi-ereto, devido ao menor espaço para crescerem. As espécies com hábito de crescimento indeterminado, como a mucuna cinza ou preta, quando usadas, devem ter seus ramos laterais podados ao atingirem o cafeeiro.

O sistema de manejo altera os atributos químicos do solo cultivado com macieira. O uso de plantas de cobertura, com manejo anual e perene, assim como mulch aplicado sobre a superfície do solo aumentou o valor do pH e os teores de Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ e P. Por outro lado, diminuiu o alumínio trocável em amostras de solo, retiradas até a profundidade de 40 cm, 12 anos após a aplicação dos tratamentos, quando comparadas às amostras retiradas no tratamento que foi mantido mecanicamente sem vegetação. As alterações químicas provocadas no solo mostraram que sua cobertura em pomar de macieira é uma maneira adequada de manejar e melhorar solos ácidos, com deficiência de cálcio e toxicidade de alumínio (PAVAN; CALEGARI, 2003).

Rufato et al. (2007) em Morro Redondo-RS, estudaram os efeitos de cinco espécies de plantas para cobertura vegetal de inverno: aveia-preta, chícharo, ervilha forrageira, nabo forrageiro, tremoço-azul, quatro consorciações entre elas e testemunha, com vegetação espontânea sobre o desenvolvimento vegetativo em plantas de pessegueiro cv. Maciel sobre capedeboscq. Os resultados mostraram que as espécies de cobertura vegetal testadas adaptaram-se às condições edafoclimáticas da região Sul do Rio Grande do Sul; que as diversas espécies, com exceção, do nabo forrageiro, incrementaram o desenvolvimento das plantas de pessegueiro; e que o desenvolvimento vegetativo e o índice de fertilidade de gemas do pessegueiro são influenciados positivamente pelo cultivo de coberturas vegetais intercalares.

Trabalhos realizados em Taiacu, SP, num Latossolo Vermelho-Amarelo, fase arenosa (PEDRINHO JUNIOR et al., 2002) mostraram que a cobertura do solo com milho/nabo nas entrelinhas de citros, apresentaram na média de 4 colheitas, uma maior produtividade em relação à área com gradagem todos os anos. Além disso, o número de aplicações para controle do ácaro da ferrugem, nos tratamentos com grade, foi três vezes maior do que nos tratamentos que continham o plantio de nabo forrageiro, sendo necessário para estes tratamentos, em média, apenas uma aplicação por ano.

Trabalhos conduzidos por Auler et al. (2008) num Argissolo Vermelho distrófico latossólico textura arenosa/média, na região do Arenito Caiuá - PR, de 1996 a 2005, demonstraram que sistemas de manejo de solo que mantiveram gramínea remanescente de pastagem na entrelinha, contribuíram para o controle da erosão e melhoraram a fertilidade dos solos cultivados com citros em comparação com o sistema de preparo de solo em faixas e com o preparo convencional. Foram observados incrementos significativos no teor de C orgânico nos tratamentos com cobertura permanente (*Paspalum notatum* e *Brachiaria humidicola*), em relação aos tratamentos: abacaxi na entrelinha (1º. ano) seguidos de controle com herbicida pós-emergente e cobertura com amendoim forrageiro perene (*Arachis pintoi*). Não se observou diferenças significativas entre os tratamentos para produção acumulada de frutos nas safras de 1996 a 2005. O preparo de solo em faixas, com manutenção de gramínea remanescente nas entrelinhas, mostrou-se apropriado para implantação dos pomares. As plantas de cobertura permanente utilizadas nas entrelinhas do pomar não comprometeram a produção de laranja, sendo importantes para melhoria da fertilidade do solo. As gramíneas foram mais eficientes que as leguminosas como cobertura vegetal nas entrelinhas do pomar.

Portanto, conclui-se que o uso de cobertura vegetal em cultivos permanentes é prática que deve ser adotada pela melhoria que promove nos atributos do solo e na produtividade das plantas.

Sistemas conservacionistas de uso do solo na integração agropecuária

As premissas básicas para a sustentabilidade da agropecuária

brasileira estão alicerçadas na recuperação das áreas degradadas por cultivos agrícolas e por exploração pecuária e na necessidade de preservação ambiental e no aumento da produtividade dessa atividade.

Esses objetivos devem ser alcançados com a redução nos custos de produção das atividades agropecuárias, com a agregação de valor aos produtos gerados e uso intensivo da área de produção. A melhor alternativa para compatibilizar essas premissas e objetivos é a prática da integração lavoura e pecuária em sistema plantio direto de produção.

No passado a introdução de agricultura na área de pecuária limitava-se ao período de reforma da pastagem.

Na integração lavoura pecuária, conduzida adequadamente, onde o solo, as plantas e os animais são manejados equilibradamente, os resultados alcançados, tanto nos estados do Sul do Brasil, como também nos do Sudeste e na região dos Cerrados, têm sido bastante promissores, pois além de conservar o solo têm promovido a diversificação de renda da propriedade. Esse sistema também tem melhorado e equilibrado os atributos do solo e aumentado os rendimentos de grãos de milho e soja na integração.

No Paraná, particularmente na região Noroeste do Estado, constatada a degradação da pastagem, com predomínio de espécies de baixo valor nutricional para alimentação animal, como a grama mato grosso (*Paspalum notatum*), é prática usual o preparo do solo e a implementação de práticas como correção, adubação e cultivo de plantas anuais: milho, algodão ou soja. Em seguida, a implantação da pastagem era retomada.

O sucesso da exploração de atividades agrícolas e pecuárias impõe um bom planejamento da atividade, que deverá considerar todos os aspectos relacionados a solo, clima, infraestrutura da propriedade, conhecimento e manejo das espécies forrageiras e culturas agrícolas a serem empregadas e rotacionadas na exploração integrada, além de capacitação e gerenciamento do produtor rural, que terá um sistema mais complexo de administração.

Hoje já existem inúmeras ofertas tecnológicas aplicáveis para várias situações de cultivo e de exploração pecuária, em diferentes regiões brasileiras. A integração pode ser feita pelo consórcio, sucessão ou ainda rotação de culturas anuais com forrageiras. Os objetivos da

integração também podem ser variados. Na atividade pecuária esses objetivos vão desde a recuperação de pastagens degradadas, manutenção de altas produtividades de forragem e principalmente, produção forrageira na entressafra. Na exploração agrícola, objetiva-se a quebra do ciclo de pragas, doenças e plantas daninhas e melhoria na conservação do solo e da água. No sistema como um todo se busca um aumento de renda e da estabilidade de produção (KLUTHCOUSKI; YOKOYAMA, 2003).

Em áreas com solos e pastagens degradadas os sistemas de consórcio, rotações e sucessões são práticas com possibilidade de utilização para recuperá-las. Os consórcios incluindo forrageiras tropicais são indicados pelo diferencial de tempo e acúmulo de biomassa ao longo do ciclo das espécies. Enquanto as gramíneas forrageiras tropicais, especialmente as brachiárias, possuem lento acúmulo de matéria seca da parte aérea, nos primeiros 50 dias de emergência, a maioria das culturas anuais tem rápido desenvolvimento inicial e tem período crítico de interferência por competição com outras espécies nesse período, justamente de pouco desenvolvimento das brachiárias.

A brachiária pode ser semeada simultaneamente com a cultura do milho ou da soja, ou ainda 15-25 dias após a semeadura do milho, nas entrelinhas. Devido ao lento desenvolvimento inicial da gramínea ela não concorre com os cultivos anuais. Durante o cultivo e após a colheita dessas culturas, a brachiária se desenvolve podendo ser utilizada para pastoreio, em período de escassez de pastagem. Posteriormente, pode ser usada como planta de cobertura de solo, produzindo palha para o plantio direto da próxima safra de cultura anual (COBUCCI et al., 2001, CRUSCIOL; BORGHI, 2007). Neste sistema de consórcio o milho, pela maior taxa de crescimento, apresenta vantagens em relação à soja, sendo pouco afetado pela competição com a brachiária. No caso da soja, é necessário aplicação de herbicidas, normalmente metade da dosagem recomendada, para reduzir o crescimento da brachiária e evitar a competição. Sistemas de integração lavoura-pecuária ou de recuperação de pastagens com o plantio direto, vêm sendo largamente utilizados como sistemas recuperadores e conservacionistas de solos, nas regiões tropicais e subtropicais brasileiras.

Outros sistemas de consorciação são relatados por Silva e Resck

(1997) e Séguy et al. (1997), com o uso de estilosantes (*Stylosanthes guianensis*) ou calopogônio (*Calopogonium mucunoides*) em plantios consorciados nas entrelinhas do milho. Estas espécies têm crescimento inicial lento. Desse modo, não há perdas de produtividade do milho, por competição com as espécies em consórcio, que somente terão seu crescimento acelerado, acumulando grande massa vegetal, quando o milho inicia o processo de secagem (SKORA NETO, 1993a,b). Calegari (2000), apresenta outras alternativas de consórcio incluindo espécies como a crotalária juncea, o guandu, as mucunas, que em situações determinadas, poderão ser consorciadas com milho ou sorgo.

Percebe-se o avanço de áreas do Estado do Paraná e região Sudeste com o uso da integração lavoura e pecuária, onde vários resultados favoráveis e tendências têm sido relatados e confirmados por distintos produtores das mais diversas regiões.

Após a colheita da soja em março, ou antes da colheita (30-40 dias), se implanta cultivos forrageiros de outono/inverno. Após o pastoreio de outono/inverno/início de primavera, deixa-se as espécies vegetar em no mínimo 45 dias para que possam produzir biomassa que cubra bem o solo. Posteriormente desseca-se a planta de cobertura com herbicidas para iniciar nova semeadura de soja, ou de milho, no SPD.

Conforme Alves et al. (2006), a integração animal com a produção de grãos, pode proporcionar elevada produção de leite e carne, além de grãos, com alta competitividade. Uma combinação de pastagens perenes e anuais, com adubação e uso rotacionado de pastagens com diferentes formas de manejo, e utilizando animais com potencial genético, é possível a produção integrada com elevados valores de mercado. Com essa tecnologia, na região Norte do Paraná, abatem-se animais de até 20 meses de idade, com terminação em pastagem, com alta qualidade de carcaça. Na produção de leite, é possível se obter 15-20 litros/animal/dia, com baixos custos de produção, demonstrando o potencial de lucratividade também nesta atividade. Contudo, o uso de leguminosas em pastagens brasileiras ainda é em pequena escala. Ainda existe falta de informações a muitos produtores/pecuaristas, disponibilidade e custo acessível de sementes, baixa persistência de leguminosas no sistema de pastejo, além de baixa palatabilidade e elevada necessidade de nutrientes por determinadas espécies leguminosas forrageiras. Na integração lavoura/pecuária,

basicamente o maior uso é de gramíneas, que muitas vezes supera os problemas com baixos rendimentos de cereais de inverno, e riscos financeiros com essas culturas no Sul do Brasil (ALVES et al., 2006). Pesquisas conduzidas na Fazenda Experimental da COAMO (Cooperativa Agro-industrial Mourãoense) em Campo Mourão, centro oeste do PR, de março a outubro de 2003, avaliando os efeitos do manejo de pastagens de outono/inverno, e a aveia branca (*Avena sativa* L.) e azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) na resposta à criação de bovinos, mostraram resultados bastante promissores. Os tratamentos constaram de diferentes alturas de pastejo: 7, 14, 21 e 28 cm, mantidos a campo durante o período de pastejo dos animais. Os autores concluíram que a matéria seca da pastagem aumentou com a maior altura de pastejo ($P < 0.05$). Foi observado que na altura de 21 cm, uma quantidade suficiente de resíduos foi deixada na superfície do solo, após a estação de pastejo, propiciando adequadas condições para a sequência do plantio direto de culturas de verão. Os melhores resultados médios obtidos com ganho de peso animal foram de 1.091 kg e 1.187 kg animal/dia nos tratamentos com 14 e 21 cm de altura de pastejo respectivamente. Os resultados permitem concluir que a altura de pastejo entre 14 e 21 cm foram as melhores condições para o manejo da aveia e azevém, mas com 21 cm, maior quantidade de resíduo vegetal permanece na superfície do solo, proporcionando melhores condições para o plantio direto das culturas de verão.

Na região dos Cerrados, principalmente, para alguns produtores que cultivam milho precoce, após a colheita, em fins de janeiro/meados de fevereiro, é possível semear sorgo ou milho para pastejo até abril/maio. Em algumas situações, cultivam-se espécies consorciadas e depois de realizar o pastejo, planta-se novamente, soja, em novembro.

Os produtores que estão utilizando estes sistemas estão alcançando considerável ganho de peso animal no inverno, além dos efeitos químicos, físicos e biológicos favoráveis no solo contribuírem para o aumento nas culturas de verão (soja, milho, sorgo, e outros).

Algumas estratégias de sequências de culturas em exploração lavoura e pecuária devem ser consideradas. Em áreas de culturas anuais, após a colheita da soja, poderá ser semeado o milho, sorgo, crotalarias (principalmente juncea e spectabilis), girassol, guandu, ou

capim pé-de-galinha gigante, conforme as condições locais. Estes materiais, com exceção do girassol, que poderá ser usado para produção, devem ser pastejados no outono-inverno (2 a 3 pastejos). Os animais devem ser retirados da área em pastejo quando as plantas estiverem com altura entre 10-20cm. Antes da implantação da cultura de verão, em outubro/novembro, deve-se dessecar a planta para cobertura do solo. Nos anos posteriores essa sequência é repetida, podendo rotacionar os talhões, conforme as condições específicas das áreas e dos interesses do produtor (produção de grãos, integração pecuária e grãos).

Em áreas de pastagens degradadas, que representam cerca de 50% das pastagens dos Cerrados do Brasil, recomenda-se calagem, com posterior escarificação, caso seja constatado compactação, seguido de dessecação leve do pasto. Para recuperação, deve-se semear o guandu a 60 cm entre linhas e caso o pasto esteja bem ralo semeia-se também a gramínea, adubando-se somente o guandu na linha de plantio com fósforo e potássio. O guandu e o pasto desenvolvem-se simultaneamente, sendo que em abril-maio o guandu estará em fase de florescimento/enchimento de grãos, podendo ser pastejado pelo gado, deixando-se 20-30 cm para posterior rebrota e novos pastejos. Em setembro/outubro realiza-se uma dessecação leve para a semeadura do milho, soja ou sorgo e outras graníferas, assim como para o crescimento e recuperação do pasto. Este sistema pode promover uma adequada recuperação do solo em 2 a 3 anos, com consequente estabelecimento de uma pastagem rentável e de alta qualidade.

Em áreas de pastagens degradadas, principalmente, a integração lavoura pecuária floresta é também uma alternativa viável a ser implementada em diferentes condições agroecológicas. Este sistema de cultivo flexibilizando o uso de diferentes espécies vegetais (forrageiras – gramíneas e leguminosas - integradas com espécies arbóreas) devidamente validada regional e localmente, constituindo num sistema que além de proporcionar um melhor e mais equilibrado uso da terra, contribui para uma maior renda líquida da propriedade e melhor qualidade de vida aos produtores a partir do manejo sustentável dos recursos naturais.

A definição das opções de espécies para comporem os sistemas sequenciais de culturas em rotação ou sucessão dependerá de um

adequado diagnóstico das condições locais e infraestrutura do produtor. As condições de solo, químicas, físicas e biológicas, assim como a ocorrência de pragas e/ou doenças (nematóides), bem como os interesses do produtor são fundamentais para a definição da(s) espécie(s) a serem implantadas. As espécies produtoras de biomassa, as culturas principais e os sistemas de rotação devem ser criteriosamente escolhidos e adaptados às particularidades regionais.

Sistemas agroecológicos de produção

O sistema agroecológico é a forma mais abrangente de produção em agricultura conservacionista. Sua prática prevê o resgate e disseminação de variedades regionais de plantas, a rotação e o consórcio de cultivos, as práticas ecológicas de manejo de solos, a utilização de caldas e biofertilizantes foliares no controle de pragas e doenças, o uso de sistemas de cultivo e criação na mesma propriedade, e a homeopatia de uso animal. Essas práticas, dentre várias outras, são utilizadas no processo de reestruturação, sob um enfoque ecológico, dos sistemas produtivos da região Sul do país (SCHMITH, 2002). Portanto, os sistemas agroecológicos incluem práticas conservacionistas de uso do solo e água, mas vão além. Aqui será dada ênfase ao uso do solo e água.

O manejo adequado da matéria orgânica, principalmente em solos tropicais e subtropicais desempenha papel fundamental na produção agrícola, quer como reserva de nutrientes, quer como condicionadora e melhoradora das características do solo, sendo imprescindível no manejo agroecológico do solo. Assim, deve-se buscar formas de manutenção e/ou aumento do conteúdo da matéria orgânica no solo.

O aumento da matéria orgânica no solo está diretamente ligado ao aumento na adição de carbono e/ou redução da taxa de decomposição dos materiais orgânicos frescos (MOF) e húmus. Uma forma de adicionar carbono ao longo dos anos é pela vegetação espontânea (invasoras), pelo cultivo de espécies perenes, de pastagens ou através da prática ordenada de sucessões, rotações e/ou consorciação de culturas (sistemas), com elevada capacidade de produção de fitomassa que incluam conjuntamente cultivos comerciais

e recuperadores de solos (CALEGARI, 2002).

Apesar da comprovada e exitosa experiência de inúmeros agricultores, a transição do plantio direto para o sistema agroecológico ainda se encontra, na maior parte dos casos, em fase de desenvolvimento e validação, em diversas propriedades nas regiões do Sudeste e Sul do Brasil.

Um dos principais desafios na produção orgânica e também no plantio direto agroecológico é o controle de plantas invasoras, que promovem uma grande competição por luz, água e nutrientes, com as culturas em desenvolvimento. Uma das estratégias de manejo das invasoras é o controle da sua ressemeadura, não permitindo que as mesmas ocupem novamente a área anteriormente infestada.

No Sul do Brasil, Skora Neto (1993b) estudou, por vários anos, o comportamento de diferentes invasoras e mostrou que é possível diminuir as populações, por meio de um manejo adequado dessas invasoras. Para que esse objetivo seja alcançado é necessária a eliminação das plantas invasoras antes que elas concluam seu ciclo reprodutivo, diminuindo assim a população de sementes da área em cultivo. Esse fato acontece como resultado do acúmulo de resíduos vegetais na superfície, associado ao não revolvimento do solo. Portanto, no plantio direto agroecológico, as invasoras são controladas pela cultura de cobertura. Essa cobertura morta é formada pela ação mecânica do rolo-faca. Contrariamente, o pousio é uma prática não recomendada, pois o mesmo facilita o crescimento e proliferação de invasoras, principalmente as espécies perenes, comprometendo o rendimento das culturas, conforme pode se observar nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3. Sequência de culturas e rendimento de milho e feijão, em kg/ha, no sistema plantio direto agroecológico. (Sítio Terra Viva, Lapa, PR – Sr. Leonardo Valdera Pinto).

Inverno 04	Verão 04/05	kg/ha	Outono 05	Inverno 05	Verão 05/06	kg/ha	Inverno 06	Verão 06/07	kg/ha
aveia	feijão	2286	milheto + c. juncea	ervilhaca comum	milho	6025	aveia+ ervilhaca	feijão	1554
				ervilhaca peluda	milho	6100	aveia	feijão	1644
pousio	feijão	2031	milheto + c. juncea	ervilhaca peluda	milho	3784	aveia	feijão	1631
			pousio	pousio	milho	1985	pousio	feijão	1515

Tabela 4. Sequência de culturas e rendimento de milho e feijão, em kg/ha, no sistema plantio direto agroecológico (Sítio Terra Viva, Lapa, PR – Sr. Leonardo Valdera Pinto).

Inverno 04	Verão 04/05	kg/ha	Inverno 05	Verão 05/06	kg/ha	Inverno 06	Verão 06/07	kg/ha
ervilhaca comum	milho	3192	Pousio	feijão	727	pousio	milho	1738
ervilhaca peluda	milho	5139	aveia comum	feijão	1509	ervilhaca	milho	4829
			aveia lapar 61 + ervilhaca (ressem.)	feijão	2033	ervilhaca	milho	2840
pousio	milho	1055	aveia lapar 61	feijão	1549	ervilhaca	milho	3712

Esses resultados obtidos em áreas de produtores agroecológicos, na região Centro Sul do Paraná, demonstram efeitos favoráveis do uso de plantas de cobertura, antecedendo as culturas comerciais, aumentando o rendimento de grãos e, seguramente, a renda líquida, quando comparado à área com pousio invernal.

Os resultados até o momento são promissores e grande parte dos produtores está satisfeita com as atividades que, conforme alguns, promove o desenvolvimento total da propriedade, respeitando a natureza, mantendo a qualidade de vida das famílias rurais, além de permitir a continuidade da produção agropecuária de forma sustentável.

Na região lindeira à barragem Itaipu Binacional, PR, técnicos de diversos Programas de pesquisa do IAPAR em parceria com a Itaipu, a partir de 2004, iniciaram os trabalhos com a implantação de unidades de teste e validação (UTVs) de plantio direto com qualidade, em sistema de produção orgânica. O projeto teve por estratégia de ação a produção máxima de cobertura do solo, minimização da infestação de plantas invasoras, rotação de culturas, adaptações em semeadoras adubadoras de plantio direto para menores mobilizações do solo e máximo aterramento das sementes, além da utilização de equipamentos para manejo da cobertura, em diversas propriedades rurais situadas às margens da represa.

Trabalhos realizados no âmbito das Empresas Públicas, ONGs e nas Redes de Referências Orgânicas vêm sendo difundidos no Estado do Paraná. Rede é uma metodologia de trabalho que estabelece ações a serem desenvolvidas em um conjunto de propriedades representativas de determinado sistema de produção familiar, visando ampliação de

sua eficiência e sustentabilidade e, uma vez validadas essas ações, servem como referência para as demais unidades por elas representadas. As técnicas e processos são definidos e conduzidos pelos produtores, técnicos e pesquisadores. Grande parte das atividades é realizada na própria propriedade rural. Muitas vezes os resultados e validações são complementados por avaliações em estação experimental, para garantia dos avanços tecnológicos.

Os sistemas de produção em estudo envolvem a olericultura e a produção de leite e de grãos, especialmente soja orgânica. Cerca de 30 propriedades representativas destes sistemas fazem parte das Redes de Referência. Os resultados alcançados nessas propriedades são disseminados aos demais agricultores, para que tenham acesso e passem a adotar sistemas sustentáveis de produção definidos nas propriedades de referência.

Conclusões e perspectivas futuras

Um conjunto de tecnologias disponíveis e factíveis de uso em distintas condições de solos e sistemas de produção regionais possibilita a integração dos diferentes métodos e práticas visando uma produção agrícola racional e sustentável. Dessa forma, os agroecossistemas regionais deverão se alterar buscando a produtividade, a competitividade e a sustentabilidade em longo prazo.

O sistema de plantio direto, incluindo-se o emprego de plantas de cobertura adequadamente conduzidos em rotação com culturas comerciais, ou no sistema de integração lavoura e pecuária, adaptados regionalmente, permitem uma melhor distribuição do trabalho durante todo o ano, resultando em economia de mão-de-obra, maior diversificação da propriedade rural, promovendo maior diversidade biológica com menores riscos de ataques de doenças e/ou pragas, melhor redistribuição, aproveitamento e equilíbrio dos nutrientes no solo, diminuição dos custos de produção com melhoria da capacidade produtiva do solo e maior estabilidade de produção. Consequentemente, há uma tendência de aumento na renda líquida da propriedade comprovando assim, que é uma eficiente e eficaz forma de uma produção contínua em sistemas sustentáveis.

Ao longo dos anos, a experiência brasileira mostrou que o

enfoque puramente tecnológico dos programas que visavam a promoção de uma agricultura mais sustentável não foi suficiente para alavancar o processo de mudança e transformação. A participação dos agricultores e suas organizações, novas formas de relacionamento entre agricultores, pesquisa, extensão oficial e setor privado devem ser estimulados para a consolidação de sistemas conservacionistas no Brasil. Dessa forma, é fundamental que cada vez mais sejam desenvolvidos mecanismos que promovam ações interativas e sinérgicas entre os diferentes atores.

No nível de políticas públicas, é necessária a viabilização de incentivos aos produtores, visando facilitar o processo de adoção de sistemas conservacionistas. Assim, linhas de crédito para investimento e custeio diferenciado e regras diferenciadas de seguro agrícola, são alguns mecanismos que poderiam estimular o aumento da adoção do sistema. Também o Estado poderia contribuir com o financiamento de linhas de pesquisa que busquem alternativas viáveis no uso racional dos insumos e processos: fertilizantes, controle de invasoras, pragas e doenças; visando desenvolver sistemas mais sustentáveis ambientalmente e economicamente.

A gestão dos recursos naturais utilizando a bacia hidrográfica como unidade de trabalho é fundamental na execução integrada dos programas de uso, manejo e conservação dos solos e outros recursos naturais. Isso significa planejar, administrar e executar ações e manejo dos recursos naturais com base em decisões coletivas, com suporte legal. Nesse enfoque, o fortalecimento e a persistência das políticas públicas para o uso, o manejo e a conservação dos recursos naturais, utilizando as bacias hidrográficas como unidade de trabalho, são imprescindíveis para manter sempre permanente a consciência ambiental na sociedade paranaense e brasileira.

Agradecimentos

Agradecemos aos agricultores que estão implementando sistemas de manejo do solo sustentáveis, assim como aos pesquisadores das diferentes Áreas de Pesquisa do IAPAR, que contribuíram com informações relevantes para a preparação do presente capítulo.

Referências bibliográficas

ALVES, S. J.; LIMA ALVES, R. M.; RICCE, W. da S.; TORMENA, C.; MORAES, A.; BELLO, M. Integração Lavoura- Pecuária Intensiva e Perspectivas do Aumento do Uso de Leguminosas em pastejo. In: ENCONTRO TÉCNICO SOBRE LEGUMINOSAS FORRAGEIRAS - SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS, 2006, Nova Odessa. [Anais...] Nova Odessa: APTA, 2006. 1. CD ROM.

AULER, P. A. M. A.; FIDALSKI, J.; PAVAN, M. A.; NEVES, C. S. V. J. Produção de laranja 'Pêra' em sistemas de preparo do solo e manejo nas entrelinhas. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p. 363-374, 2008.

BOLLIGER, A.; MAGID, J.; AMADO, T. J. C.; SKÓRA NETO, F.; SANTOS RIBEIRO, M. F.; CALEGARI, A.; RALISCH, R.; AND NEERGAARD, A. Taking Stock of the Brazilian "Zero Till Revolution": A Review of Landmark Research and Farmers' Practice. **Advances in Agronomy**. v. 91, p. 47-110, 2006.

CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E. A.; WILDNER, L. do P.; COSTA, M. B. B.; ALCÂNTARA, P. B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T. J. C. **Adubação verde no Sul do Brasil**. 2. Ed. Rio de Janeiro, RJ: AS-PTA, 1993, 346 p.

CALEGARI, A.; FERRO, M.; GRZESIUK, F.; JÚNIOR, L. J. **Plantio direto, rotação de culturas**. Maringá: COCAMAR, 1995, 64 p.

CALEGARI, A. The spread and benefits of no-till agriculture in Paraná State, Brazil. In: UPHOFF, N. **Agroecological innovations: Increasing food production with participatory development**. London: Earthscan, 2002. p. 187-202.

CALEGARI, A.; COSTA, A.; RALISCH, R. Sustainable agriculture with no-tillage including cover crops and crop rotation. **Annals of Arid Zone**, v. 46, n. 1, p. 1-24, 2007.

CALEGARI, A.; HARGROVE, W. L.; RHEINHEIMER, D. S.; RALISCH, R.; TESSIER, D.; TOURDONNET, S.; GUIMARÃES, M. F. Impact of long-term

no-tillage and cropping system management on soil organic carbon in an oxisol: a model for sustainability. **Agronomy Journal**, v. 100, p. 1013-1019, 2008.

CALEGARI, A. Rotação de culturas e uso de plantas de cobertura: dificuldades para a sua adoção. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 7., Foz do Iguaçu, 2000. **Resumos...** Foz do Iguaçu: FEBRAPDP, 2000. p. 145-152.

CALEGARI, A. **Sequestro de carbono, atributos físicos e químicos em diferentes sistemas de manejo em um latossolo argiloso do sul do Brasil**. 2006. 191 f..Tese (Doutorado em Agronomia) Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR.

CHAVES, J. C. D.; CALEGARI, A. Adubação verde e rotação de culturas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 212, p. 53-60, 2001.

CHAVES, J. C. D. Uso racional de plantas de cobertura em lavouras cafeeiras. CONSÓRCIO BRASILEIRO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 4., 2005, Londrina. **Resumos...** Londrina: IAPAR, 2005. 1. CD ROM.

COLOZZI FILHO, A. **Dinâmica populacional de fungos micorrizicos arbusculares no agrossistema cafeeiro e adubação verde com leguminosas: solos e nutrição de plantas**. 1999. Tese (Doutorado), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

COBUCCI, T.; KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H. Aproveitando-se da planta daninha. **Revista Cultivar**, n.27, p. 26-30, 2001.

COSTA, A.; VIEIRA, M. J.; BRAGAGNOLO, N.; MUZILLI, O.; PAN, W. Programas de conservação do solo e da água em microbacias: o caso do Paraná e novos desafios. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE O USO DA ÁGUA NA AGRICULTURA, 2., 2006, Passo Fundo, RS. **[Anais...]** Passo Fundo: UFPF, 2006. 12 p. 1. CD-ROM.

CRUSCIOL, C. A. C.; BORGHI, E. Consórcio de milho com braquiária: produção de forragem e palhada para o plantio direto. **Revista Plantio direto**, v. 16, n. 100, p. 10-14, jul/ago, 2007.

DAL BÓ, P.; BECKER, M. **Avaliação de leguminosas de inverno para cobertura verde do solo em parreiras**. Florianópolis: EMPASC, 1987. 5 p. (EMPASC. Pesquisa em Andamento, 79).

DENARDIN, E. L.; KOCHHANN, R. A.; FLORES, C. A.; FERREIRA, T. N.; CASSOL, E. A.; MONDARDO. A.; SCHWARZ, R. A. Agricultura Conservacionista - Sistema Plantio Direto. In: DENARDIN, J. E. et al. (Ed.). **Manejo da Enxurrada em Sistema Plantio Direto**. Porto Alegre. Fórum Estadual de Solo e Água, 2005. p. 19-21.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; AND ROTH, C. H. Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and zero tillage techniques in Paraná, Brazil. **Soil Till. Res.** v. 8, p. 253-263, 1986.

FAO. **The conservation agriculture group activities 2000-2001**. Rome: FAO, 2002. 25 p.

GOMES, J.; CHAVES, J. C. D. Modificações químicas em coluna de solo, incubada com resíduos vegetais e CaCO_3 . In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 17., Caxambu, 1994. **Resumos...** Caxambu, SBQ, 1994. p. 21.

KLUTHCOUSKI, J.; YOKOYAMA, L. P. Opções de Integração Lavoura-Pecuária. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (Ed.). **Integração Lavoura-Pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 129-141.

KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, E. L.; FLORES, C. A.; FERREIRA, T. N.; CASSOL, E. A.; MONDARDO. A.; SCHWARZ, R. Enxurrada em Sistema Plantio Direto. In: DENARDIN, J. E. et al. (Ed.). **Manejo da Enxurrada em Sistema Plantio Direto**. Porto Alegre. Fórum Estadual de Solo e Água, 2005. p. 19-21.

MACHADO, W.; STIPP, N. A. F. Caracterização do manejo de solo na microbacia hidrográfica do Ribeirão dos Apertados – PR. **Geografia**, Londrina, v. 12, n. 2, jul/dez. 2003.

MEDEIROS, G. B.; CALEGARI, A. Rotação de culturas. In: CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y. R.; PASSINI, J. J. (Ed.). **Sistema Plantio direto com qualidade**. Londrina: IAPAR; Foz do Iguaçu: ITAIPU Binacional, 2006, p. 135-141.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 7, n. 3, p. 411-416, 1993.

NAZRALA, M. L.; MARTINEZ, H. Abonos verdes y cobertura vegetal in vid. *Idia*. **S. L.** p. 343-348, Jul/Dic, 1976.

OLIVEIRA, J. B. Solos para citros. In: RODRIGUEZ, O., VIÉGAS, F., POMPEU JR., J.; AMARO, A. A. (Ed.). **Citricultura Brasileira**. Campinas: Fundação Cargill, p. 196-227. 1991. 1 v.

PAVAN, M. A.; CHAVES, J. C. D.; ANDROCIOLI FILHO, A.; VIEIRA, M. J. Alterações na agregação do solo em função do manejo de lavouras cafeeiras. **Arq. Biol. Tecnol.**, Curitiba, v. 38, n. 1, p. 205-215, 1995.

PAVAN, M. A.; CHAVES, J. C. D. **A Importância da matéria orgânica nos sistemas agrícolas com base nos resultados de pesquisa**. Londrina: IAPAR, 1998, 36 p. (IAPAR. Circular, 98).

PAVAN, M. A.; CALEGARI, A. Soil cover management for improving apple productivity under minimum disturbance. In: WORD CONGRESS ON CONSERVATION AGRICULTURE, 2., 2003. Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** Foz do Iguaçu: FEBRAPDP, 2003. p. 183-185.

PEDRINHO JUNIOR, A. F. F.; SOARES, D. J.; GRAVENA, R.; SANTANA, A. E.; CARVALHO, J. E. B. de; PITELLI, R. A. Manejo do solo associado a diferentes coberturas vegetais e sua interferência na produtividade da laranja 'Pêra'. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 17., 2002, Belém, PA. **[Anais...]** Belém: SBF, 2002. 1. CD-ROM.

ROTH, C. H. Infiltração de água no solo em relação à sua susceptibilidade

à erosão. In: DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; ROTH, C. H. **Estudo e desenvolvimento de sistemas de rotação de culturas incluindo espécies de cobertura verde e métodos de preparo do solo.** Londrina: IAPAR, 1984, 107 p.

RUFATO, L. L.; RUFATO, A. DE R.; ANNELIESE, A. Coberturas vegetais no desenvolvimento vegetativo de plantas de pessegueiro. **Rev. Bras. Frutic.** Jaboticabal, v. 29, n. 1, 2007.

SÉGUY, L.; BOUZINAC, S; TRENTINI, A.; CORTÊS, N. A. Gestão da fertilidade nos sistemas de cultura mecanizados nos trópicos úmidos: o caso das frentes pioneiras dos cerrados e florestas úmidas no centro norte do Mato Grosso. In: PEIXOTO, R. T. G.; AHRENS, D. C.; SAMAHA, M. J. **Plantio Direto: o caminho para uma agricultura sustentável.** Ponta Grossa: IAPAR, 1997, p. 124-157.

SCHMIDT, C. J. Transição para a Agroecologia na Região Sul. In: ENCONTRO NACIONAL DE AGROECOLOGIA, 2002, Rio de Janeiro, RJ. **[Anais...]** Rio de Janeiro: AS-PTA, 2002. p. 60-64.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S. Plantio direto no Cerrado. In: PEIXOTO, R. T. G.; AHRENS, D. C.; SAMAHA, M. J. (Ed.). **Plantio Direto: o caminho para uma agricultura sustentável.** Ponta Grossa, IAPAR, 1997. p. 158-184.

SKORA NETO, F. Controle de plantas daninhas através de coberturas verdes consorciadas com milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 28, n. 10. p. 1165-1171, 1993a

SKORA NETO, F. Coberturas vegetais em diferentes sistemas de preparo do solo no controle de plantas daninhas. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE PLANTIO DIRETO NA PEQUENA PROPRIEDADE. **[Anais...]** Ponta Grossa, PR: IAPAR. 1993b. p.173-181.

TEASDALE J. R.; BRANDSAETER, L. O.; CALEGARI, A.; SKORA NETO, F. Cover crops and weed management. In: UPADHYAYA, M. K.; BLACKSHAW, R. E. Non-chemical weed management: principles, concepts and technology. Cambridge, CAB International, 2007. p. 49-64.

Guilherme Montandon Chaer

Introdução

A qualidade do solo é vital para a produção sustentável de alimentos e fibras e para o equilíbrio geral do ecossistema. Manter ou aumentar a qualidade dos solos pode prover uma série de benefícios econômicos e ambientais. Por exemplo, solos de alta qualidade são produtivos, pois permitem uma alta eficiência da utilização de água e nutrientes pelas culturas. Adicionalmente, o manejo adequado do solo promove a melhoria na qualidade da água e do ar via a redução da erosão, lixiviação de contaminantes e da emissão de gases de efeito estufa. A mensuração desses benefícios, no entanto, pressupõe a existência de um método ou índice que permita acessar e monitorar a qualidade dos solos manejados de forma a permitir a discriminação de sistemas sustentáveis daqueles não sustentáveis.

No entanto, a avaliação da qualidade do solo não é uma tarefa simples. O solo é um corpo complexo com inúmeros processos físicos, químicos e biológicos os quais estão em constante fluxo, são heterogêneos em natureza, e que muitas vezes são de difícil mensuração (KELTING et al., 1999). Além disso, existe uma enorme diversidade de tipos de solo, os quais podem ser submetidos a uma multiplicidade de usos. Essas dificuldades aumentam ainda mais quando se considera a atual definição de qualidade do solo, sumarizada como a capacidade do solo de desempenhar uma série de funções produtivas e ambientais (LARSON; PIERCE, 1991; DORAN; PARKIN, 1994). Em consequência desses aspectos, definir um padrão de qualidade universal para os solos não é possível. Apesar dessas

dificuldades, várias estratégias têm sido propostas para calcular um Índice de Qualidade do Solo (IQS) como meio de derivar uma expressão numérica para a qualidade geral dos solos (DORAN; PARKIN, 1994; KARLEN; STOTT, 1994; WANG; GONG, 1998; HULUGALLE et al., 1999; ISLAM; WEIL, 2000; ANDREWS; CARROLL, 2001). Esses modelos têm sido aplicados para avaliar os efeitos de diferentes usos do solo (FU et al., 2004; REZAEI et al., 2005), e de práticas de manejo a exemplo do preparo do solo (HUSSAIN et al., 1999; CHAER, 2001; DIACK; STOTT, 2001; CAMBARDELLA et al., 2004), da aplicação de resíduos culturais e adubos orgânicos (KARLEN; STOTT, 1994; ANDREWS; CARROLL, 2001; LEE et al., 2006), da comparação de sistemas de produção convencional versus orgânico (GLOVER et al., 2000; ANDREWS et al., 2002a; ANDREWS et al., 2002b), e de programas de recuperação de áreas degradadas (WANG; GONG, 1998). Em comum, todos os modelos propostos incluem três passos principais para produzir o IQS: (1) a seleção de um conjunto mínimo de propriedades físicas, químicas ou biológicas designadas como indicadores de qualidade do solo; (2) a definição de um sistema de pontuação para interpretar a adequabilidade dos valores do indicador e transformá-los para uma escala comum, e (3) a combinação das pontuações dos indicadores para produzir o índice.

Neste capítulo são apresentados os principais métodos propostos para avaliar a qualidade do solo a partir de informações de um conjunto de indicadores físicos, químicos e biológicos. Uma ênfase maior é dada aos modelos de IQS em razão do seu crescente uso e das várias dificuldades a serem ainda transpostas para a sua aplicação em larga escala como ferramenta de avaliação e monitoramento da qualidade dos solos.

Estado da arte

Modelos de IQS

Modelos para o cálculo de Índices de Qualidade do Solo (IQS) evoluíram a partir de modelos desenvolvidos para acessar o potencial produtivo dos solos. Esses modelos usavam uma combinação de

informações tanto subjetivas quanto empíricas, que relacionavam propriedades do solo com medidas de produtividade. Por exemplo, Kiniry et al. (1983) propuseram um modelo multiplicativo para gerar um índice de produtividade (PI), o qual descrevia o relacionamento entre produtividade vegetal e cinco propriedades do solo, conforme a equação 1:

$$PI = \sum_{i=1}^r (A \times B \times C \times D \times E \times RI)_i \quad (1)$$

Onde:

A, *B*, *C*, *D* e *E* são os valores de suficiência para água disponível, aeração, densidade do solo, pH e condutividade elétrica e *RI* é o peso baseado na distribuição de raízes ideal em cada horizonte *i* do solo.

O termo “suficiência” refere-se ao crescimento ótimo da raiz. Assim, esse modelo assume que a produtividade vegetal é primariamente dependente do crescimento ótimo das raízes e que a distribuição vertical das mesmas é geneticamente controlada e totalmente expressa sob condições ótimas de solo. Vários índices de produtividade alternativos foram desenvolvidos pela modificação do conjunto de propriedades e das funções de suficiência propostos por Kiniry et al. (1983), de forma a melhorar o desempenho do modelo para diferentes tipos de solo e sistemas de produção (PIERCE et al., 1983; GALE et al., 1991).

Os modelos de IQS são similares em conceito aos de índice de produtividade, exceto que nos IQS as propriedades do solo representam, além de produtividade, outras funções do solo. Dentre estas podem ser citadas: o suporte físico para as raízes das plantas; a retenção, suprimento e ciclagem de nutrientes; a retenção e a condutividade de água; o suporte para as cadeias alimentares e a biodiversidade do solo; o tamponamento e filtragem de substâncias tóxicas e o sequestro de carbono (BEZDICEK et al., 1996; DAILY et al., 1997). Uma vez definido o conjunto de indicadores capazes de representar o desempenho dessas funções-chaves do solo, o IQS é gerado por meio de um modelo matemático que integra as medidas dos indicadores. O modelo mais comumente usado para este fim é o

“aditivo-ponderado” (tradução livre de “weight-additive model”) o qual pode ser representado pela equação 2:

$$SQI = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \times W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (2)$$

Onde:

n representa o número total de indicadores de qualidade do solo,

S_i é o valor da pontuação atribuído ao indicador i , e W_i é o peso do indicador i relativo ao grau de importância desse indicador na qualidade geral do solo.

Um dos primeiros proponentes do modelo aditivo-ponderado foram Karlen e Stott (1994), os quais designaram um IQS para acessar a capacidade do solo de resistir à erosão pela água. Eles sugeriram que um solo de alta qualidade deveria acomodar a entrada de água, facilitar a transferência e absorção de água, resistir à degradação e sustentar o crescimento vegetal. O método usado para definir um IQS com base nessas quatro funções do solo consiste dos seguintes passos: (a) definição de pesos de importância para cada função do solo; (b) definição de um subconjunto de indicadores de qualidade do solo capazes de representar cada função; (c) definição de pesos para cada indicador de acordo com a sua importância relativa para representar a respectiva função do solo; (d) pontuação dos valores do indicador e (e) o cálculo do IQS.

Karlen e Stott (1994) sugeriram o uso de funções de pontuação padrão não-lineares (SSF – *non-linear standard scoring functions*) (propostas originalmente por WYMORE, 1993) como método de transformar os valores dos indicadores para uma escala normalizada entre zero e um de acordo com a sua adequabilidade em especificar uma função do solo. As SSF são definidas pela equação 3:

$$Score(S) = \frac{1}{1 + ((B - L) / (x - L))^{2s(B+x-2L)}} \quad (3)$$

Onde:

x é valor observado do indicador de qualidade do solo; B é o valor da linha base definido como o valor do indicador onde a função pontua 0,5 (ou 50% do limite superior); s é a declividade da tangente da função de pontuação no valor da linha base B , e L é o limite inferior do indicador abaixo do qual ele irá pontuar em zero, se s for positivo, ou em um, se s for negativo (Figura 1).

Wymore (1993) definiu 12 famílias de SSF a partir da equação 3, as quais geram curvas sigmóides com diferentes características. Entretanto, apenas 3 famílias foram identificadas por Karlen e Stott (1994) como de interesse para pontuar indicadores de qualidade do solo (Figura 2). O primeiro tipo (família SSF3), comumente chamada de “mais é melhor”, possui o parâmetro s positivo e uma forma que é zero a partir de -8 até o valor L , aumenta até “um” do ponto L ao ponto U (limite superior), e é “um” a partir desse ponto até 8 . O segundo tipo (família SSF9), denominado “menos é melhor”, possui s negativo e forma inversa à da SSF3. O último tipo é uma curva em forma de sino, ou curva de “ótimo” (família SSF5), a qual é formada pela combinação das duas curvas anteriores, onde o ponto ótimo “O” corresponde ao limite superior da SSF3 e ao limite inferior da SSF9 (Figura 2). Karlen e Stott (1994) sugeriram que o tipo e os parâmetros das SSF, para cada indicador, devem ser definidos a partir de informações de especialistas ou de bancos de dados específicos.

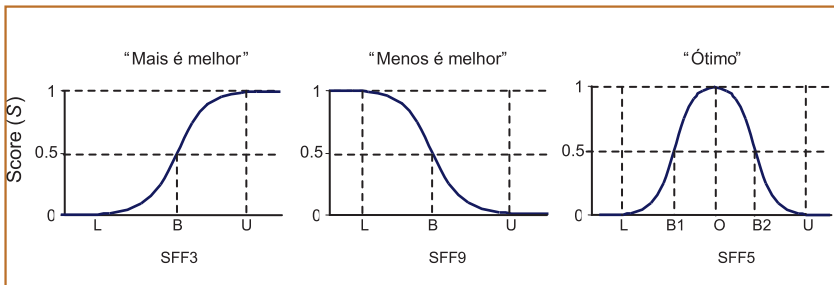


Figura 1. Funções de pontuação não-lineares usadas para ranquear indicadores de qualidade do solo. (L - limite inferior; B - linha base; U - limite superior; O - ótimo). Adaptado de WYMORE, (1993).

Após a pontuação dos indicadores, o IQS é calculado da seguinte forma (Tabela 1): (1) a pontuação de cada indicador (S_i) é

multiplicada pelo seu respectivo peso (W_i); (2) os produtos $S_i \times W_i$ de cada indicador (I) representando a respectiva função (F) são somados para produzir a pontuação da função (S_F); (3) as pontuações das funções são multiplicadas pelos seus respectivos pesos (W_F) e (4) os produtos $S_F \times W_F$ somados para produzir o IQS. O IQS pode também ser calculado diretamente por meio da equação 2, se o peso geral correspondente a cada indicador for calculado. Isso pode ser feito simplesmente pela multiplicação do peso atribuído ao indicador pelo peso de sua respectiva função, ou pela soma desses produtos, caso o indicador esteja associado a mais de uma função. No entanto, o cálculo direto apresenta como desvantagem o fato de não permitir a obtenção dos índices de qualidade para cada função do solo individualmente.

Tabela 1. Método geral proposto por Karlen e Stott (1994) para definir pesos para os indicadores de qualidade e para calcular o IQS.

Função do solo (F)	Pontuação (S_F)	Peso (W_F)	Produto ($S_F \times W_F$)	Indicador (I)	Pontuação (S_i)	Peso (W_i)	Produto ($S_i \times W_i$)
F_1	S_{F1}	W_{F1}	$S_{F1} \times W_{F1}$	$I_{1,F1}$	$S_{1,F1}$	$W_{1,F1}$	$S_{1,F1} \times W_{1,F1}$
:				:	:	:	:
:				$I_{n,F1}$	$S_{n,F1}$	$W_{n,F1}$	$S_{n,F1} \times W_{n,F1}$
:				-----			$\Sigma = S_{F1}$
F_i	S_{Fi}	W_{Fi}	$S_{Fi} \times W_{Fi}$	$I_{1,Fi}$	$S_{1,Fi}$	$W_{1,Fi}$	$S_{1,Fi} \times W_{1,Fi}$
				:	:	:	:
				$I_{n,Fi}$	$S_{n,Fi}$	$W_{n,Fi}$	$S_{n,Fi} \times W_{n,Fi}$
				-----			$\Sigma = S_{Fi}$
			$\Sigma = IQS$				

Devido à flexibilidade do modelo conceitual proposto por Karlen e Stott (1994) o mesmo tem sido aplicado em diversos tipos de solo e sistemas de cultivo, para avaliar os efeitos de práticas de manejo sobre a qualidade do solo (KARLEN et al., 1994; HUSSAIN et al., 1999; GLOVER et al., 2000; CHAER, 2001; HUANG et al., 2004; ZHANG; ZHANG, 2005). Entretanto, algumas alternativas à SSF têm sido propostas para a pontuação de indicadores. Estas incluem as tabelas de pontuação (WANG; GONG, 1998; CHAUDHURY et al., 2005), funções lineares (DIACK; STOTT, 2001; LIEBIG et al., 2001; FU et al., 2004) e curvas de suficiência, obtidas pela regressão dos indicadores contra medidas de produtividade (KELTING et al., 1999; REZAEI et al., 2005).

Limitações dos modelos de IQS

A aplicação dos IQS certamente se apresenta como uma alternativa bastante atraente para o monitoramento do uso do solo ou para a definição daquelas práticas de manejo mais eficientes. No entanto, alguns desafios ainda se impõem ao uso dessa metodologia. Por exemplo, na maioria dos modelos de IQS, a exemplo daquele proposto por Karlen e Stott (1994), são usados frequentemente critérios arbitrários para selecionar, transformar e pesar os indicadores de qualidade do solo. Apesar desses parâmetros serem definidos por meio da opinião de especialistas, a falta de critérios objetivos permite a eventual definição de modelos bastante distintos para avaliar um mesmo solo, com base em razões e julgamentos diferentes. A definição desses parâmetros pode, dessa forma, influenciar significativamente nos índices obtidos e, conseqüentemente, na interpretação dos resultados do trabalho. Este fato pode ser exemplificado com os dados extraídos do trabalho de Diack e Stott (2001). Nesse estudo, os autores definiram um modelo para calcular um IQS para comparar a qualidade do solo após 16 anos de cultivo usando-se plantio direto, subsolagem, ou arado de aiveca. Foram definidas cinco funções do solo e um conjunto de indicadores para avaliar o desempenho dessas funções (Tabela 2). Pesos de importância foram atribuídos às funções do solo e distribuídos entre os respectivos indicadores. Os valores dos indicadores foram convertidos para uma escala entre 0 e 1 e os IQS obtidos conforme o modelo aditivo-ponderado (Equação 2; Tabela 1). A Tabela 2 mostra também pesos alternativos atribuídos à mesma estrutura de funções/indicadores proposta por Diack e Stott (2001) e os IQS resultantes da combinação desses pesos com as pontuações originais dos indicadores. Os pesos alternativos foram atribuídos usando-se os seguintes critérios: a) as funções 1 e 2 foram fundidas em uma única função considerando que ambas estão relacionadas ao transporte de água e podem ser avaliadas pelos mesmos indicadores (densidade do solo e taxa de infiltração); b) cada uma das 4 funções resultantes recebeu um peso semelhante (0,25), o qual foi dividido equitativamente entre os respectivos indicadores. Com base no modelo com os pesos originais, os autores concluíram que a qualidade do solo foi maior no sistema de cultivo com subsolagem (IQS = 0,623) e que a

qualidade do solo dos sistemas sob plantio direto e sob o uso de arado de aiveca praticamente não diferiu. Entretanto, o cálculo dos IQS a partir dos pesos alternativos mostra que a conclusão do estudo teria sido diferente, uma vez que, nesse caso, a maior qualidade do solo seria aquela sob o sistema de plantio direto (IQS = 0,609) (Tabela 2).

Tabela 2. Modelo proposto por Diack e Stott (2001) para definir um IQS para avaliar três sistemas cultivo do solo (plantio direto, subsolagem ou arado de aiveca). Uma alternativa ao modelo original foi gerada pela proposição de diferentes pesos para os indicadores de qualidade do solo e os IQS foram recalculados (modelo alternativo mostrado em vermelho).

Funções do solo	Indicadores	Pesos		Pontuação		
		original	modif.	Plantio direto	Subsolagem	Arado de aiveca
1. Permitir a entrada de água	Taxa de infiltração	0,4	0,13	0,42	0,91	0,69
2. Facilitar o transporte e absorção de água	Densidade do solo	0,05	0,06	0,10	0,10	0,10
	Permeabilidade do solo	0,05	0,06	0,10	0,52	0,64
3. Resistir à degradação física	Índice de selamento	0,25	0,25	0,37	0,22	0,09
4. Resistir à degradação bioquímica	C orgânico total	0,04	0,05	0,90	0,85	0,80
	C orgânico particulado	0,04	0,05	0,90	0,43	0,38
	C orgânico dissolvido	0,04	0,05	0,90	0,65	0,63
	C da biomassa microb.	0,04	0,05	0,90	0,58	0,35
	Ativ. enzimática (FDA)	0,04	0,05	0,90	0,80	0,68
5. Sustentar o crescimento vegetal	N total	0,05	0,25	0,90	0,82	0,86
	IQS com pesos originais			0,496	0,623	0,492
	IQS com pesos modificados			0,609	0,581	0,513

A alternativa que tem sido sugerida para reduzir a arbitrariedade na seleção de parâmetros em modelos de IQS é o uso da análise de componentes principais (ACP) para selecionar um conjunto mínimo de indicadores a partir de um grande grupo de características do solo, assim como para definir seus respectivos pesos no modelo (BREJDA et al., 2000; ANDREWS; CAROLL, 2001; ANDREWS et al., 2002a). Entretanto, os autores enfatizam que o método requer a existência prévia de um extenso banco de dados, incluindo todos os solos considerados, e que o método é inadequado quando o número de indicadores ou observações é baixo (ANDREWS et al., 2002a). Outra crítica ao método refere-se ao fato de que o mesmo tende a selecionar apenas as características do solo mais sensíveis como indicadores, independentemente de como elas efetivamente se relacionam com a qualidade do solo ou do quanto elas são representativas ou não das principais funções do solo.

Outro problema crítico no desenho de modelos de IQS é a falta de valores de referência em condições específicas (tipo e uso do solo).

Este problema é especialmente importante quando se deseja fazer uso de indicadores biológicos nos modelos, dada a escassez de informações e bancos de dados que possam ser usados para definir parâmetros para as respectivas funções de pontuação. Como alternativa, têm-se usado áreas de vegetação natural próximas aos solos estudados para definir valores ótimos para indicadores biológicos. No entanto, é difícil garantir que esses valores são válidos quando se avalia ecossistemas completamente alterados, como é o caso de áreas degradadas, ou, quando o ecossistema já atingiu um ponto de equilíbrio dos processos biológicos e de ciclagem de nutrientes bem distinto daquele presente no solo sob a condição original.

Ordenações multivariadas

Ordenações multivariadas constituem-se em alternativas aos modelos de IQS como método de avaliação da qualidade do solo a partir de um conjunto de indicadores. Em relação aos IQS, as ordenações são mais simples de serem implementadas, pois dispensam a definição de toda a estrutura formal dos modelos de IQS (funções do solo, indicadores, pesos, funções de pontuação e outros). Os métodos de ordenação mais tradicionais são a análise de componentes principais (ACP) (PEARSON, 1901) e, sua variante, a análise de fatores (GOODALL, 1954). Recentemente, o método de ordenação *nonmetric multidimensional scaling* (NMS) (SHEPARD, 1962) tem sido crescentemente usado como uma alternativa a esses métodos, uma vez que permite avaliar faixas muito mais abrangentes de estrutura dos dados (MCCUNE; GRACE, 2002).

Independente do método de ordenação usado, a análise procede pela definição do conjunto de indicadores de qualidade do solo que serão usados na análise. Tais indicadores devem estar disponíveis para todas as áreas consideradas. Dentre essas, é desejável a presença de uma ou mais áreas que possam ser usadas como referenciais de qualidade do solo. Em geral, são usados solos sob vegetação nativa ou que tenham sofrido mínima intervenção antrópica adjacentes às áreas sendo avaliadas. Pressupõe-se, nesse caso, que as características físicas, químicas e biológicas de solos, sob vegetação nativa evoluíram para uma condição de equilíbrio o qual assegura a viabilidade em longo-

prazo de suas funções no ecossistema (TRASAR-CEPEDA et al., 1998). Alternativamente, podem ser definidos referenciais teóricos a partir da escolha de valores ótimos para cada um dos indicadores considerados na análise (ex., BALIEIRO et al., 2005).

O resultado da ordenação multivariada constitui-se em um gráfico bi ou tri-dimensional, onde a qualidade do solo dos “casos” ordenados (tratamentos experimentais, áreas com diferentes históricos de manejo e outros) pode ser avaliada com base na distância gráfica em relação ao referencial de qualidade, ou por meio da correlação dos indicadores do solo com os eixos da ordenação. A título de exemplo, foi realizada a ordenação multivariada (método NMS) de cinco tratamentos experimentais representando cinco níveis de distúrbio do solo (Figura 2) (dados obtidos do estudo de CHAER et al., 2007). Os distúrbios consistiram da aplicação de 0, 1, 2, 3 e 4 eventos de aração/gradagem realizados durante um período de 3 meses. Foram considerados na análise os dados obtidos de 8 indicadores físicos, químicos e biológicos analisados a partir de amostras de solos coletadas 60 dias após o último evento de aração/gradagem. O gráfico da Figura 2 mostra nitidamente a separação dos tratamentos ao longo do eixo 1, da ordenação o qual agrupou 73% da variância total dos dados. Assim, as parcelas controle agruparam-se à esquerda do gráfico e as demais parcelas tratadas ordenaram-se ao longo do eixo 1 em proporção ao nível de distúrbio sofrido. A correlação de cada indicador com os eixos da ordenação, representados pelos vetores no gráfico, revelaram que a separação dos tratamentos foi relacionada principalmente a mudanças no conteúdo de água disponível, condutividade hidráulica, carbono orgânico, biomassa microbiana e no diâmetro médio e estabilidade de agregados do solo. Ao contrário, CTC e densidade do solo sofreram pouca ou nenhuma influência dos tratamentos de aração/gradagem. Outros exemplos da aplicação de ordenações multivariadas para avaliação da qualidade do solo podem ser encontradas em Wick et al. (2002) e Balieiro et al. (2005).

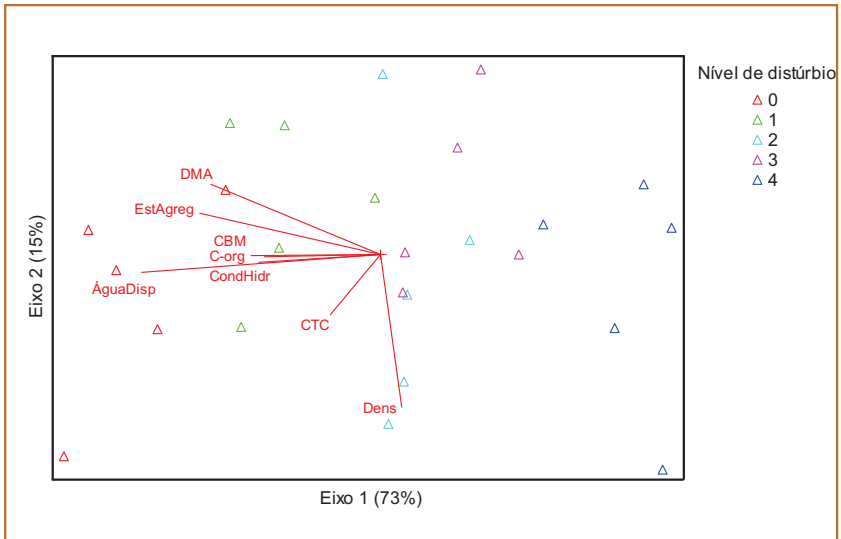


Figura 2. Ordenação NMS de parcelas experimentais representando cinco tratamentos de distúrbio do solo com base em 8 indicadores de qualidade do solo. Os vetores representam graficamente a correlação de cada indicador com os dois eixos da ordenação. (DMA – diâmetro médio de agregados; EstAgreg – estabilidade de agregados em água; CBMic – carbono da biomassa microbiana; C-org – carbono orgânico total; ÁguaDisp – água disponível entre os potenciais de -10 e -1500 kPa; CondHidr – condutividade hidráulica saturada de campo; CTC – capacidade de troca de cátions; Dens – densidade do solo).

Embora o uso de ordenações multivariadas para a avaliação da qualidade do solo seja adequado em várias situações, este método apresenta a desvantagem de não fornecer uma medida quantitativa da qualidade do solo como os modelos de IQS. No entanto, dada a facilidade da análise e da interpretação gráfica, as ordenações podem ser de especial ajuda na análise exploratória dos dados ou, como mencionado anteriormente, como técnica de seleção do conjunto mínimo de indicadores a serem usados nos modelos de IQS (BREJDA et al., 2000b; ANDREWS et al., 2002a).

Considerações finais

A falta de critérios ou ferramentas adequadas para monitorar a qualidade dos solos manejados faz com que, em muitas situações, a sua degradação somente seja detectada em seus estágios mais avançados, o que dificulta ou mesmo inviabiliza ações de recuperação. Dessa forma, o desenvolvimento de modelos os quais sejam baseados em funções inequivocamente importantes para quaisquer solos sob o aspecto da

sustentabilidade agrícola, deverá servir como uma ferramenta para a quantificação direta do estado de preservação dos solos, bem como para o monitoramento da adequabilidade de manejos e usos da terra. A aplicação de tal estratégia possibilitará garantir a manutenção ou melhoria da qualidade dos solos manejados, ou ao menos, aumentar o conhecimento sobre a situação de degradação destes, de modo a orientar legisladores e direcionar políticas relacionadas à ocupação e monitoramento do uso do solo.

Referências bibliográficas

ANDREWS, S. S.; CARROLL, C. R. Designing a soil quality assessment tool for sustainable agroecosystem management. **Ecological Applications**, v. 11, p. 1573-1585, 2001.

ANDREWS, S. S.; KARLEN, D. L.; MITCHELL, J. P. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 90, p.25-45, 2002a.

ANDREWS, S. S.; MITCHELL, J. P.; MANCINELLI, R.; KARLEN, D. L.; HARTZ, T. K.; HORWATH, W. R.; PETTYGROVE, G. S.; SCOW, K. M.; MUNK, D. S. On-farm assessment of soil quality in California's central valley. **Agronomy Journal**, v. 94, p. 12-23, 2002b.

BALIEIRO, F. C.; CHAER, G. M.; REIS, L. L.; FRANCO, A. A.; FRANCO, N. O. Qualidade do solo em áreas degradadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., Recife, PE. **[Anais...]** Recife: UFRPE: Embrapa Solos-UEP; Viçosa: SBCS, 2005. CD-ROM

BEZDICEK, D.; PAPENDICK, R. I.; LAL, R. Importance of soil quality to health and sustainable land management. In: DORAN, J. W. JONES, A. J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Wisconsin: Am. Soc. Agron, 1996. p. 1-7.

BREJDA, J. J.; MOORMAN, T. B.; KARLEN, D. L.; DAO, T. H. Identification of regional soil quality factors and indicators: I. central and southern high

plains. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 2115-2124, 2000.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; ANDREWS, S. S.; KARLEN, D. L. Watershed-scale assessment of soil quality in the loess hills of southwest Iowa. **Soil & Tillage Research**, v. 78, p. 237-247, 2004.

CHAER, G. M.; FERNANDES, M. F.; MYROLD, D. D.; BOTTOMLEY, P. J. Shifts in microbial community structure across an induced gradient of soil degradation using PLFA-, and CLPP- techniques. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., Gramado, RS. **[Anais...]** Viçosa: SBCS, 2007. CD-ROM

CHAER, G. M. **Modelo para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos.** 2001. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Microbiologia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CHAUDHURY, J.; MANDAL, U. K.; SHARMA, K. L.; GHOSH, H.; MANDAL, B. Assessing soil quality under long-term rice-based cropping system. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 36, p. 1141-1161, 2005.

DAILY, G. C.; MATSON, P. A.; VITOUSEK, P. M. Ecosystem services supplied by soil. In: DAILY, G. **Nature's services: societal dependence on natural eco systems.** Washington, DC: Island Press, 1997.

DIACK, M.; STOTT, D. E. Development of a soil quality index for the chalmers silty clay loam from the midwest USA. In: STOTT, D. E. et al. (Ed.). **The global farm.** West Lafayette, IN: Purdue University: USDA-ARS, 2001. p.550-555.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. **SSSA**, n.35, p. 3-21, 1994.

FU, B. J.; LIU, S. L.; CHEN, L. D.; LU, Y. H.; QIU, J. Soil quality regime in relation to land cover and slope position across a highly modified slope

landscape. *Ecological Research*, 19:111-118, 2004.

GALE, M.R.; GRIGAL, D.F. & HARDING, R.B. Soil Productivity Index: Predictions of Site Quality for White Spruce Plantations. ***Soil Sci. Soc. Am. J.***, v. 55, p. 1701-1708, 1991.

GLOVER, J. D.; REGANOLD, J. P.; ANDREWS, P. K. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. ***Agriculture Ecosystems & Environment***, v. 80, p. 29-45, 2000.

HUANG, Y.; WANG, S. L.; FENG, Z. W.; OUYANG, Z. Y.; WANG, X. K.; FENG, Z. Z. Changes in soil quality due to introduction of broad-leaf trees into clear-felled Chinese fir forest in the mid-subtropics of China. ***Soil Use and Management***, v. 20, p. 418-425, 2004.

HULUGALLE, N. R.; ENTWISTLE, P. C.; MENSAH, R. K. Can lucerne (*Medicago sativa* L.) strips improve soil quality in irrigated cotton (*Gossypium hirsutum* L.) fields? ***Applied Soil Ecology***, v. 12, p. 81-92, 1999.

HUSSAIN, I.; OLSON, K. R.; WANDER, M. M.; KARLEN, D. L. Adaptation of soil quality indices and application to three tillage systems in southern Illinois. ***Soil & Tillage Research***, v. 50, p. 237-249, 1999.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. ***Agriculture, Ecosystems & Environment***, v. 79, p. 9-16, 2000.

KARLEN, D. L.; STOTT, D. E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. ***SSSA*** n. 35, p. 53-72, 1994.

KARLEN, D. L.; WOLLENHAUPT, N. C.; ERBACH, D. C.; BERRY, E. C.; SWAN, J. B.; EASH, N. S.; JORDAHL, J. L. Long-term tillage effects on soil quality. ***Soil & Tillage Research***, v. 32, p. 313-327, 1994.

KELTING, D. L.; BURGER, J. A.; PATTERSON, S. C.; AUST, W. M.; MIWA, M.;

TRETTIN, C. C. Soil quality assessment in domesticated forests - a southern pine example. **Forest Ecology and Management**, v. 122, p. 167-185, 1999.

KINIRY, L. N.; SCRIVNER, C. L.; KEENER, M. E. **A soil productivity index based upon predicted water depletion and root growth**. Columbia, MO: Missouri Agric. Exp. Stn. Res. Bull., 1983. 1501 f.

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. Conservation and enhancement of soil quality. Evaluation for sustainable land management in the developing world. In: **WORKSHOP ON EVALUATION FOR SUSTAINABLE LAND MANAGEMENT IN THE DEVELOPING**. **Proceedings...** [Bangkok, Thailand : International Board for Soil Research and Management, 1991]. p. 175-203.

LEE, C. H.; WU, M. Y.; ASIO, V. B.; CHEN, Z. S. Using a soil quality index to assess the effects of applying swine manure compost on soil quality under a crop rotation system in Taiwan. **Soil Science**, v. 171, p. 210-222, 2006.

LIEBIG, M. A.; VARVEL, G.; DORAN, J. A Simple performance-based index for assessing multiple agroecosystem functions. **Agronomy Journal**, v. 93, p. 313-318, 2001.

MCCUNE, B.; GRACE, J. B. **Analysis of Ecological Communities**. Glenden Beach, OR: MjM Software Design, 2002.

PEARSON, K. On lines and planes of closest fit to systems of points in space'. **Philosophical Magazine**, v. 6. n. 2, p. 559-572, 1901.

PIERCE, F. J.; LARSON, W. E.; DOWDY, R. H.; GRAHAM, W. A. P. Productivity of soils: assessing long-term changes due to erosion. **J. Soil Water Conserv.**, v. 38, p. 39-44, 1983.

REZAEI, S. A.; GILKES, R. J.; ANDREWS, S. S.; ARZANI, H. Soil quality assessment in semiarid rangeland in Iran. **Soil Use and Management**, v. 21, p. 402-409, 2005.

SHEPARD, R. N. The analysis of proximities: Multidimensional scaling with an unknown distance function. I. **Psychometrika**, v. 27, p. 125-139, 1962.

TRASAR-CEPEDA, C.; LEIROS, C.; GIL-SOTRES, F.; SEOANE, S. Towards a biochemical quality index for soils: An expression relating several biological and biochemical properties. **Biology and Fertility of Soils**, v. 26, p. 100-106, 1998.

WANG, X. J.; GONG, Z. T. Assessment and analysis of soil quality changes after eleven years of reclamation in subtropical China. **Geoderma**, v. 81, p. 339-355, 1998.

WICK, B.; KUHNE, R. F.; VIELHAUER, K.; VLEK, P. L. G. Temporal variability of selected soil microbiological and biochemical indicators under different soil quality conditions in south-western Nigeria. **Biology and Fertility of Soils**, v. 35, p. 155-167, 2002.

WYMORE, A. W. **Model-based systems engineering: an introduction to the mathematical theory of discrete systems and to the tricotyledon theory of system design**. Boca Raton, FL: CRC Press, 1993.

ZHANG, H.; ZHANG, G. L. Landscape-scale soil quality change under different farming systems of a tropical farm in Hainan, China. **Soil Use and Management**, v. 21, p. 58-64, 2005.

Juliana Magalhães Menezes
Rachel Bardy Prado
Gerson Cardoso da Silva Júnior
Rodrigo Tavares dos Santos

Introdução

Os recursos hídricos vêm sendo deteriorados, de forma drástica devido ao uso e ocupação inadequados da terra e emissão de poluentes nos corpos d'água. A poluição ocorre gradativamente e, sendo assim, é preciso fazer uso de instrumentos como o monitoramento da qualidade da água, pois este se presta a identificar o nível da degradação do corpo hídrico ao longo do tempo, por meio da análise de parâmetros que podem ser de natureza física, química ou biológica. O monitoramento da qualidade da água é fundamental nos programas de pagamento por serviços ambientais, pois auxilia na identificação dos impactos positivos gerados aos recursos hídricos, em função das práticas conservacionistas adotadas na bacia hidrográfica, mostrando o quão efetivas estão sendo as intervenções.

No entanto, muitos são os parâmetros analisados cujos resultados são de difícil interpretação por pessoas não especialistas no tema. Devido a este fato, os Índices de Qualidade de Água (IQA) vêm sendo desenvolvidos e aplicados no monitoramento da qualidade das águas, nas últimas décadas em diferentes partes do mundo. O índice é uma ferramenta matemática empregada para transformar vários parâmetros em uma única grandeza, que represente o nível de qualidade de água. O uso de um IQA é prático e é uma diretriz de condução, pois qualquer programa de acompanhamento de qualidade da água gera um grande número de dados analíticos que precisam ser apresentados em um formato sintético, para que descrevam e representem de forma compreensível e significativa o estado atual e as

tendências da qualidade da água (SÁNCHEZ et al, 2007; CCME, 2001b; FERREIRA; IDE, 2001).

O IQA é um instrumento acessório na interpretação de dados, auxiliando na avaliação dos resultados. Dessa forma, torna-se útil no monitoramento e gerenciamento ambiental, servindo como ferramenta na tomada de decisões relativas aos recursos hídricos. Permite comunicação explícita entre profissionais e o público, onde a informação é transmitida em termos compreensíveis da qualidade e localização da poluição (MOLOZZI et al, 2005; AURELIANO et al, 2005; PINHEIRO, 2004).

Existem diversos tipos de índices, específicos para ambientes lênticos (água parada como os reservatórios, lagos e lagoas), lóticos (águas continentais moventes como rios e córregos), estuários, estritamente biológicos ou para águas subterrâneas, dentre outros. Ainda, existem índices derivados de outros índices, como o utilizado pela CETESB, o Índice de Qualidade de Água Bruta para fins de Abastecimento Público (IAP) (CETESB, 2007). Os índices estão atrelados ao uso que se deseja fazer da água em um determinado corpo d'água e, geralmente, são elaborados a partir de opiniões de especialistas e/ou métodos estatísticos.

Como o desenvolvimento destes índices requer um conhecimento específico sobre o assunto e os métodos utilizados são baseados em diferentes pressupostos matemáticos, o presente capítulo tem como propósito apresentar as metodologias mais difundidas de IQA de forma compilada e resumida, desenvolvidas em diversos países e por diferentes instituições, uma vez que é difícil encontrar publicações que apresentem e discutam estes índices, pois eles se encontram dispersos na literatura. Deve-se ressaltar também que na literatura predominam Índices de Qualidade de Água Superficial em relação à Subterrânea, mas ambos serão descritos no presente capítulo. Também será apresentada a aplicabilidade destes índices de forma sumarizada, destacando suas facilidades e limitações. Espera-se assim fornecer subsídios para a seleção de índices a serem utilizados no monitoramento da qualidade da água em bacias hidrográficas. Para que o resultado de um IQA se aproxime, o máximo possível, da qualidade real de um dado corpo hídrico, é necessário especificar os objetivos da aplicação do IQA, principalmente no que tange à composição do índice,

à normalização dos dados, à escolha da equação e dos pesos. Os índices podem ser globais ou locais, podem ser abertos ou fechados, e estas propriedades devem ser traçadas também de acordo com objetivo do IQA. Porém, descrever as etapas de elaboração de um IQA não é escopo do presente capítulo, mas podem ser encontradas em Menezes (2009).

Metodologias de Índice de Qualidade de Água Superficial (IQA)

QA_H - Horton

É atribuído ao R. Horton, pesquisador alemão, a elaboração do primeiro IQA. Foi em 1965 que Horton realizou, para a ORSANCO (*Ohio River Valley Water Sanitation Commission*), uma apresentação formal do IQA_H. Foi a partir do IQA_H que os índices passaram a ser vistos como ferramenta para a avaliação dos programas de redução da poluição e para informação pública (DERÍSIO, 1992 apud CPRH, 2003).

O IQA_H é composto por 8 parâmetros (Oxigênio Dissolvido [OD], pH, Coliformes Fecais, Alcalinidade, Cloreto, Condutividade Elétrica [CE], Tratamento de Esgoto [% da população atendida], Carbono Extraído por Clorofórmio [CCE]) e baseia-se, como exposto na equação 1, em um somatório ponderado de subíndices, divididos pelo somatório dos pesos, multiplicado por dois coeficientes que consideram a temperatura e a poluição evidente de um curso d'água (HORTON, 1965).

$$IQA_H = \left(\frac{C_1 w_1 + C_2 w_2 + \dots + C_n w_n}{w_1 + w_2 + \dots + w_n} \right) M_1 M_2 \quad (1)$$

Onde:

IQA_H: Índice de Qualidade de Água, um número de 0 a 100;

C_i: Pontos de avaliação para a variável "i", um número de 0 a 100;

w_i: Peso correspondente ao i-ésimo parâmetro;

M₁: Coeficiente para ajustar o IQA_H em relação à temperatura, *M₁*= 1 se *T* < 34°C e *M₁*= 0,5 se *T* > 34°C e

M₂: Coeficiente para ajustar o IQA em relação às condições de poluição, *M₂* é o coeficiente que reflete a poluição aparente. *M₂*= 1 se sólidos sedimentáveis < 0,1 ml/L e *M₂*= 0,5 se sólidos

sedimentáveis > 0,1 ml/L.

Os pesos (w_i) ficaram distribuídos da seguinte forma: OD= 4, pH= 4, Tratamento de Esgoto= 4, Coliformes Fecais= 2, Alcalinidade= 1, Cloreto= 1, CE= 1, CCE= 1. A escala de classificação varia de 0 (péssima qualidade) a 100 (ótima qualidade).

National Sanitation Foundation (IQA_{NSF})

O índice proposto por Horton serviu de subsídio para a elaboração de outros índices. Sendo assim Brown et al. (1970) construíram um IQA para a National Sanitation Foundation (NSF). O IQA_{NSFA} é obtido pela soma dos subíndices ponderados como observado na equação 2.

$$IQA_{NSFA} = \sum_{i=1}^n w_i q_i \quad (2)$$

Onde:

IQA_{NSFA} : Índice de Qualidade de Água Aditivo da NSF;

w_i : Peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, aplicado em função da sua relevância para a conformação total de qualidade;

q_i : Subíndice ou qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva "curva média de variação de qualidade", em função de sua concentração e

n : Número de parâmetros que entram no cálculo do IQA_{NSFA}.

De acordo com Brown et al., (1970), a composição do IQA_{NSFA} baseou-se numa pesquisa de opinião pelo método *Delphi* realizado com 142 especialistas em qualidade de águas superficiais. Este método consiste na aplicação de questionários a especialistas de determinado assunto. Os especialistas não devem conhecer a composição do grupo nem tão pouco devem trocar informações entre si, dessa forma tenta-se

evitar tendenciosidades e influências (WRIGHT; GIOVINAZZO, 2000). Os entrevistados sugeriram os parâmetros que deveriam ser analisados, o peso que cada um deveria receber e o valor de cada parâmetro, de acordo com sua condição ou estado, numa curva média de variação de qualidade. Foram selecionados 9 parâmetros indicadores de qualidade de água. Estas curvas de variação foram sintetizadas em um conjunto de curvas médias para cada parâmetro, bem como seu peso relativo correspondente (CETESB, 2007).

Landwehr e Deininger (1976), também para a *NSF*, propuseram uma modificação no índice anterior. Ao invés de o IQA ser obtido pela forma aditiva (IQA_{NSFA}), que pode acarretar o abrandamento de situações extremas, seria obtido pela forma multiplicativa (IQA_{NSF}), como exemplificado na equação 3 e 4. Assim sendo, alguns resultados muito baixos não seriam mais mascarados.

$$IQA_{NSF} = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (3)$$

Onde:

IQA_{NSF} : Índice de Qualidade de Água Multiplicativo da *NSF*, um número entre 0 e 100;

q_i : Subíndice ou qualidade do *i*-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva "curva média de variação de qualidade" e

w_i : Peso correspondente ao *i*-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, sendo que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (4)$$

Onde:

n: Número de parâmetros que entram no cálculo do IQA.

Após o cálculo, um valor de 0 a 100 é obtido, onde 0 representa péssima qualidade e 100 ótima qualidade, sendo possível classificar a amostra na escala de categorias de qualidade de água.

No Brasil, o IQA_{NSF} foi adaptado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e é o mais difundido e aplicado (SENA et al., 2005; MOLINA et al., 2006; ZUFFO; GENOVEZ, 2006; OLIVEIRA et al., 2007; SOUSA et al., 2007) fato que promove a comparação de diferentes áreas por meio dos estudos já realizados. Os parâmetros selecionados foram: temperatura, pH, OD, demanda bioquímica de oxigênio ($DBO_{5,20} = 5$ dias, $20^{\circ}C$), coliformes termotolerantes, nitrogênio total, fósforo total, resíduo total e turbidez.

Os índices elaborados pela NSF não contemplam parâmetros tóxicos e para preencher esta lacuna Brown et al. (1970) sugeriram o emprego do Índice de Toxidez (IT), que é complementar ao IQA da NSF. O IT pode ser 0 ou 1, ou seja, quando substâncias tóxicas (cádmio, chumbo, cobre, mercúrio, cromo total, níquel e zinco) são encontradas acima do Valor Máximo Permitido (VMP) o IT é 0 e, dessa forma, o valor do IQA é anulado. Quando substâncias tóxicas não são encontradas acima do VMP o IT é 1, confirmando assim o seu valor.

A CETESB através do IAP (Índice de qualidade de água bruta para fins de abastecimento público) tem incorporado não só substâncias tóxicas, mas também substâncias organolépticas. O IAP é o produto da ponderação dos resultados do IQA_{NSF} e do ISTO (Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas), que é composto pelo grupo de substâncias que afetam a qualidade organoléptica da água, bem como de substâncias tóxicas. Assim, o IAP é composto por três grupos principais de variáveis (CETESB, 2007):

a) IQA – Grupo de variáveis básicas (Temperatura da Água, pH, OD, DBO, Coliformes Termotolerantes, Nitrogênio Total, Fósforo Total, Resíduo Total e Turbidez);

b) ISTO - Índice de Substâncias Tóxicas (ST) e Organolépticas(SO);

i) ST = Variáveis que indicam a presença de substâncias tóxicas (Teste de Ames - Genotoxicidade, Potencial de Formação de Trihalometanos - PFTHM, Número de Células de Cianobactérias - NCC, Cádmio, Chumbo, Cromo Total, Mercúrio e Níquel);

ii) SO = Grupo de variáveis que afetam a qualidade organoléptica (Ferro, Manganês, Alumínio, Cobre e Zinco).

O IAP é calculado segundo a equação 5.

$$IAP = IQA \times ISTO \quad (5)$$

O ISTO é resultado do produto dos grupos de substâncias tóxicas (i) e de substâncias que modificam a qualidade organoléptica da água (ii), dado pela equação 6:

$$ISTO = ST \times SO \quad (6)$$

Onde:

ST: Substâncias tóxicas e

SO: Substâncias que alteram a qualidade organoléptica.

O *ST* é obtido por meio da multiplicação dos dois valores mínimos mais críticos do grupo dessas variáveis sendo uma adaptação do Índice de Smith (IS), conforme apresentado na equação 7.

$$ST = \text{Mín1} (qTA; qPFTHM; qCd; qCr; qPb; qNi; qHg; qNCC) \times \text{Mín2} (qTA; qPFTHM; qCd; qCr; qPb; qNi; qHg; qNCC) \quad (7)$$

Onde:

Mín1 e *Mín2* são os menores valores das variáveis do grupo de *ST* e

q_i: número variando entre 0 e 1, obtido através das curvas de qualidade.

O *SO* é obtido pela média aritmética das qualidades padronizadas das variáveis pertencentes a este grupo, conforme equação 8.

$$SO = \text{Média Aritmética} (qAl; qCu; qZn; qFe; qMn) \quad (8)$$

q_i: Número variando entre 0 e 1, obtido através das curvas de qualidade.

Índice de Qualidade de Água de Prati (IQA_{Prati})

O Índice Implícito de Poluição de Prati (IQA_{Prati}) é um índice para águas superficiais e engloba 13 parâmetros: OD, Demanda Química de Oxigênio (DQO), pH, DBO, Nitrato, Cloreto, Carbono Orgânico Total, Permanganato, Sólidos Suspensos, Ferro, Surfactantes, Manganês, Amônia (PRATI et al., 1971).

Semelhante aos índices expostos anteriormente, um subíndice foi determinado para cada parâmetro e estes subíndices foram fundamentados em critérios pessoais relacionados ao rigor dos efeitos da poluição. O índice é calculado como a média aritmética dos 13 subíndices (equação 9) e a escala de classificação varia de 0 a 14. Quanto maior for o seu valor mais poluído encontra-se o corpo d'água (CPRH, 2003).

$$IQA_{Prati} = \frac{1}{13} \sum_{i=1}^{13} qi \quad (9)$$

Onde:

IQA_{Prati} = Índice Implícito de Poluição de Prati e

q_i : Subíndice ou qualidade do i -ésimo parâmetro.

Índice de Qualidade de Água de Bascarán (IQA_B)

O Índice de Qualidade de Águas Superficiais de Bascarán (IQA_B), aplicado na Espanha, é semelhante ao índice desenvolvido por Horton e trabalha com valores individuais de uma série de parâmetros e possibilita um valor global de qualidade de água (BASCARÁN, 1979 apud RIZZI, 2001). É expresso pela equação 10:

$$IQA_B = k \frac{\sum_{i=1}^n C_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (10)$$

Onde:

C_i : Valor percentual correspondente ao parâmetro i ,

P_i : Peso correspondente a cada parâmetro e

k : Constante de ajuste, em função do aspecto visual das águas.

Para as águas claras, sem aparente contaminação, é atribuído para k o valor 1,00; para águas com ligeira cor, espuma, turbidez aparente ou natural é atribuído valor 0,75; para águas com aparência de estarem contaminadas e com forte odor é atribuído valor 0,50 e para águas negras que apresentam fermentação e odores é atribuído valor

0,25. A escala do IQA_B varia de 0 a 100 (de péssimo a excelente).

Embora pouco aplicado no Brasil, o IQA_B já foi adaptado por Rizzi (2001), de forma a contemplar os parâmetros existentes nos Boletins Quinzenais da Estação de Tratamento de Água Iguaçú - Curitiba e por Cristo et al., (2009), para avaliar a qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio São Domingos, no município de São José de Ubá, Noroeste do Rio de Janeiro.

Os subíndices são obtidos de formas diferentes no IQA_{NSF} e no IQA_B . No IQA_{NSF} para cada valor analítico de parâmetro existe um q (subíndice) correspondente e no IQA_B o valor percentual correlato ao parâmetro (C) é distribuído por categorias, de forma que vários valores analíticos possam estar correlacionados com o mesmo valor percentual. Essa diferença faz com o uso do IQA_B seja mais simplificado e que os resultados do IQA_{NSF} apresentem mais detalhes.

Índice de Qualidade de Água de Smith (IS)

Smith (1987) propôs um índice que aborda quatro tipos de uso da água superficial: geral, banhos públicos, abastecimento de água e desova de peixes.

O método *Delphi* foi empregado para a seleção dos parâmetros e para a elaboração de subíndices. O índice foi construído de forma não ponderada, pois considera igualdade de importância entre os parâmetros que entram no cálculo do IQA. A forma de agregação dos parâmetros deste índice difere em relação ao do Horton ou da NSF, por exemplo, o IS utiliza o método do operador mínimo e não os métodos de produtório ou somatório. O cálculo do IS é exposto na equação 11:

$$IS = \min (I_1, I_2, \dots, I_i) \quad (11)$$

Onde:

IS = Valor do índice e

I_i = Valor dos subíndices, cuja escala de valores varia de 0 a 100.

O método proposto por Smith faz com que o valor do IQA seja equivalente ao menor valor dos subíndices já que, segundo o autor, são

os parâmetros que apresentam maior inconformidade e não o conjunto deles que conferem à água o grau de adequação para determinado uso requerido.

Canadian Water Quality Index (IQA_c)

O método *Canadian Water Quality Index* foi desenvolvido por uma comissão de especialistas em qualidade de água do *Canadian Council of Ministers of the Environment* (CCME) em 1997. A proposta dessa comissão foi a de avaliar diferentes índices que eram aplicados por diversas instituições e jurisdições do Canadá e formular um IQA que poderia ser usado para simplificar os relatórios de qualidade e pudesse ser acessível aos não especialistas. O IQA_c tem sido aplicado no programa de monitoramento de qualidade da água do Canadá, desde 2001, sempre com muito êxito (KHAN et al., 2010; LUMB et al., 2010).

De acordo com o CCME (2001a), o IQA_c é composto por três fatores (F_1 , F_2 , F_3). O primeiro a ser calculado é o F_1 , que é chamado de Alcance, pois representa a porcentagem de parâmetros que estão em inconformidade com os valores de referência ou critérios de qualidade, ou seja, foram superiores (ou inferiores, quando o objetivo é o mínimo) ao limite estabelecido para dado fim. O segundo fator a ser calculado, o F_2 , representa a Frequência com que cada parâmetro analisado, em cada amostra coletada, não atende aos valores de referência. Essa comparação, entre os resultados dos parâmetros com os valores de referência, é denominada "teste". O F_3 é o terceiro fator a ser calculado e representa a Amplitude das falhas dos testes, ou seja, refere-se à distância com que cada parâmetro está em relação ao limite de referência. A obtenção do F_3 ocorre em três momentos: do cálculo das variações, da soma normalizada das variações (nse) e da padronização dessa soma. Designa-se por "variação" o número de vezes em que a concentração de um indivíduo é superior (ou inferior, quando o objetivo é o mínimo) ao limite estabelecido.

Depois que os fatores são obtidos, o IQA_c pode ser calculado pela soma dos três fatores. A soma dos quadrados de cada

elemento é, portanto, igual ao quadrado do índice (equação 12). Esta metodologia trata o índice como sendo um vetor no espaço tridimensional, definido por cada um dos fatores.

$$IQA_{CCME} = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732} \right) \quad (12)$$

O divisor 1,732 varia em um intervalo entre 0 e 100, onde 0 representa a "pior" qualidade da água e 100 representa a "melhor" qualidade da água.

Método com o emprego da Lógica Fuzzy

Deshpande e Raje (2003) avaliaram a qualidade da água para banho do rio Ganga na Índia por meio da lógica *fuzzy*, que difere da lógica booleana, onde a proposição lógica só pode ser 0 ou 1. Na lógica *fuzzy* não existem somente dois extremos, "totalmente verdadeiro" ou "totalmente falso", sendo possível variar o grau de verdade em intervalos menores entre 0 a 1, ou seja, pode ser "parcialmente falso" ou "parcialmente verdadeiro".

Para o desenvolvimento do método, quinze especialistas em qualidade de água foram consultados para a escolha dos parâmetros a serem analisados (Coliformes Fecais, OD, DBO, pH e Turbidez). Foram criadas duas escalas de avaliação de qualidade, a primeira serve para avaliar os parâmetros individualmente (muito boa, boa, regular, ruim) e a segunda para classificar a amostra integralmente (totalmente aceitável, aceitável, parcialmente aceitável, não aceitável).

Seria possível mencionar ainda outras metodologias de cálculo de Índice de Qualidade de Água utilizadas no Brasil, como: a da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) que gerou o Índice Geral de Qualidade de Água Distribuída (IGQA) (FACINCANI *et al.*, 1999) e a da Companhia de Água e Esgotos de Brasília (Caesb) que elaborou o IQAD - Índice da Qualidade da Água Distribuída à População do Distrito Federal (BERNARDES *et al.*, 1999).

Todos esses trabalhos foram desenvolvidos para águas superficiais, entretanto, nota-se muita semelhança na forma de

elaboração desses índices, sendo um somatório de subíndices ponderados ou produtório de subíndices potencializados.

Metodologias de Índice de Qualidade de Água Subterrânea (IQAS)

Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas (IQNAS)

No Brasil, um grupo de estudos do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal da Bahia desenvolveu curvas de qualidade para as águas subterrâneas da Bahia. O índice calculado é referente à Qualidade Natural da Água Subterrânea (IQNAS), para poços dos quatro domínios hidrogeológicos (sedimentar, metassedimentar, cárstico e cristalino) do Estado da Bahia. Os parâmetros físico-químicos selecionados foram: pH, Cloreto, Resíduos Totais, Dureza, Nitrato e Flúor.

De acordo com Oliveira et al. (2007), o IQNAS foi construído à semelhança do Índice de Qualidade de Água da *National Sanitation Foundation* (adaptado pela CETESB). Foram utilizados os dados consistidos das análises químicas de 1899 poços cadastrados no Banco de Dados da Companhia de Engenharia Rural da Bahia (Cerb), e de 5 amostras de águas minerais da Bacia Sedimentar do Recôncavo, tomadas como padrão. As equações matemáticas para os seis parâmetros utilizados foram modeladas utilizando o *software* estatístico *SYSTAT* e as curvas de qualidade foram geradas especificamente para os principais Domínios Hidrogeológicos do Estado da Bahia, com isso a adequabilidade para o local é maior.

Système d'évaluation de la Qualité des Eaux Souterraines (SEQ)

O sistema de avaliação de qualidade de água subterrânea (SEQ) foi desenvolvido na França, pela Agência da Água e pelo Ministério da Ecologia e do Desenvolvimento Sustentável, com o objetivo de refletir as especificidades das águas subterrâneas. Este sistema determina a capacidade da água satisfazer os diferentes tipos de uso (CADILHAC; ALBINET, 2003) e avalia a qualidade da água medindo os vários tipos de poluição, que são caracterizados por meio de grupos formados por parâmetros da mesma natureza ou que provoquem os mesmos efeitos.

O SEQ avalia os grupos de alteração de acordo com o uso e finalidade da água, variando de 0 a 100 as categorias. Ou seja, cada parâmetro é avaliado individualmente e posteriormente é avaliado o grupo que ele pertence. Dessa forma, são atribuídos valores para esses grupos (0 a 100) e definidas quatro classes de adequação que possuem as cores azul, verde, amarelo e vermelho. A categoria final do ponto analisado é dada de acordo com a classificação mais baixa obtida pelos grupos de alteração (CADILHAC; ALBINET, 2003), a semelhança de como é feito no Índice de Smith pelo método do operador mínimo.

Índice de Qualidade de Água Subterrânea (IQUAS)

De acordo com Almeida e Oliveira (2008) a formulação do Índice de Qualidade de Água Subterrânea (IQUAS) foi baseada na revisão de índices já existentes para a avaliação da qualidade da água subterrânea, tal como o IQNAS e o SEQ - Sistema de avaliação da qualidade da água desenvolvido na França, sendo modificado para a inclusão de outros parâmetros químicos e bacteriológicos. A escolha dos parâmetros e de seus pesos foi realizada por meio da Metodologia *Delphi*.

As curvas de qualidade foram elaboradas com base nos teores preconizados na minuta da resolução CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente) para águas subterrâneas, precursora da Resolução CONAMA nº396/08 (BRASIL, 2008); além da Portaria do Ministério da Saúde nº 518/04 (BRASIL, 2004) e da Diretriz para a Qualidade da Água para Consumo Humano (WHO, 2006).

Este índice é calculado a partir do cálculo de subíndices que por sua vez são compostos por grupos de parâmetros. Os subíndices são relacionados aos grupos de alteração e cada parâmetro recebe um peso na composição do subíndice. Os subíndices e seus parâmetros são: BIO (ferro e manganês), MS (cloreto, dureza, fluoreto, pH e sulfatos), PS (turbidez), NIT (nitrato), AMO (amônia), MIN (mercúrio total) e ORG (benzeno). O cálculo final do IQUAS é dado pela equação 13.

(13)

$$IQUAS = Q_{BIO}^{0,19} \times Q_{FEMN}^{0,06} \times Q_{MS}^{0,19} \times Q_{PS}^{0,06} \times Q_{NIT}^{0,19} \times Q_{AMO}^{0,06} \times Q_{MIN}^{0,06} \times Q_{ORG}^{0,19}$$

Da aplicação da equação final do IQUAS resulta um número adimensional na faixa de 0 a 100, que descreve as cinco classes de qualidade das águas subterrâneas. O IQUAS também foi construído à semelhança do IQA_{NSP} , e por isso mantém o mesmo intervalo de notas nas categorias de qualidade da água (ALMEIDA; OLIVEIRA, 2008).

Análise Fatorial de Correspondência (AFC)

Para a determinação e interpretação dos dados de qualidade ambiental podem ser utilizadas diversas aplicações estatísticas, como por exemplo: Análise da Matriz de Correlação, Análise de Componentes Principais, Análise Fatorial (CPRH, 2003).

Stigter et al. (2006), em Portugal, objetivando acompanhar o impacto da agricultura na qualidade da potabilidade da água subterrânea, aplicaram o método chamado de Análise Fatorial de Correspondência (AFC), desenvolvido por Benzécri no início dos anos 60 do século passado, cujo objetivo era formar grupos a partir de características comuns. A construção do IQA_{AFC} se dividiu em três partes:

- a) Seleção dos dados e parâmetros;
- b) Padronização dos dados (lógica booleana) e;
- c) Classificação das amostras.

Na primeira etapa, foram selecionados os parâmetros: nitrato, sulfato, cloreto e cálcio.

O segundo momento pode ser resumido na equação 14:

$$F_i = \frac{1}{p\sqrt{\lambda}} \sum_{j=1}^m \delta_j L_j \quad (14)$$

Onde:

F_i = valor do fator i amostra;

P = número de parâmetros envolvidos na construção do índice;

λ = fator de ponderação (para manter a amostra entre 0 e 1);

δ_j = código lógico ($\delta_j = 1$, para amostras dentro das classes e $\delta_j = 0$, para amostras fora das classes);

L_j = fator de carregamento do fator j (peso de j em relação a lógica), e;

m = número de classes.

A padronização para cada um dos poços em cada parâmetro pode ser feita, por exemplo, por meio de um pacote estatístico como o *X-STAT* 2006, por meio da função de lógica sendo: 0 para a não ocorrência e 1 para a ocorrência.

As amostras, por parâmetro, foram distribuídas em uma faixa de três níveis de concentração:

b_1) <VG (menor que o valor guia);

b_2) VG-VMP (entre o valor guia e o valor máximo permitido) e

b_3) >VMP (acima do valor máximo permitido).

Por fim, obtêm-se várias combinações de ocorrência e, de acordo com valores preestabelecidos, qualificam-se as amostras de acordo com os possíveis resultados das variáveis. Passado este momento, adquire-se um índice que varia de -1 a 1, sendo 1 para baixa qualidade e -1 para alta qualidade. O zero é atribuído para água dentro dos padrões.

Índice Relativo de Qualidade (IRQ)

É o método para caracterização e hierarquização do potencial qualitativo das águas subterrâneas e que foi desenvolvido por Fernandes e Loureiro (2006), na Universidade Federal de Minas Gerais. Neste procedimento são considerados alguns parâmetros hidroquímicos sensíveis às interferências antrópicas, sendo eles: nitrato, cloreto e sólidos totais dissolvidos. Entretanto, nada impede que a referida metodologia seja aplicada para caracterizar as variações de outros parâmetros de natureza antropogênica, como também para caracterizar alterações naturais da qualidade, desde que sejam previamente reconhecidos os valores de referência (*background*) para o sistema hidrogeológico avaliado. Este índice, como o próprio nome diz é relativo, não sendo tão preciso e também é pouco difundido.

A seguir serão apresentadas as equações 15, 16, 17 e 18 utilizadas para a determinação do *IRQ*, por período de monitoramento. Após a aplicação do *IRQ* são definidas 5 categorias de qualidade da água variando de 0 a 1.2, sendo elas: excelente, boa, razoável, ruim e péssima.

$$IRQ_{imáx.} = \frac{V_{imáx.}}{VMP_i} \quad (15)$$

$$IRQ_{iméd.} = \frac{V_{iméd.}}{VMP_i} \quad (16)$$

$$IRQ_{imáx.} = \frac{IRQ_{i1imáx.} + IRQ_{i2imáx.} + IRQ_{i3imáx.}}{3} \quad (17)$$

$$IRQ_{iméd.} = \frac{IRQ_{i1iméd.} + IRQ_{i2iméd.} + IRQ_{i3iméd.}}{3} \quad (18)$$

Onde:

i: Número de parâmetros;

V_{i máx.}: Máximo;

V_{i méd.}: Média dos valores médios;

V_i: Valores identificados;

VMP_i: Valores Máximos Permitidos (conforme estabelecido pelo padrão de potabilidade das águas [Portaria N°518, do Ministério da Saúde, de 25/03/04]) e

IRQ_i: Índice Relativo de Qualidade de Água.

Índice de Qualidade de Água Subterrânea para Consumo Humano (IQAS_{CH})

Menezes (2009) desenvolveu um Índice de Qualidade de Água Subterrânea para Consumo Humano (IQAS_{CH}) para ser aplicado em áreas de aquíferos cristalinos sob uso agrícola. O objetivo desse índice foi reunir parâmetros representativos, tanto da avaliação da qualidade da água subterrânea proveniente do cristalino como das atividades agrícolas. O índice local/específico permite avaliar melhor a região estudada.

O índice é calculado em duas fases complementares, sendo avaliados na primeira fase parâmetros que não oferecem riscos a saúde humana, sendo considerados como não tóxicos (Condutividade Elétrica, Dureza, pH, Turbidez, Nitrato, Coliformes Termotolerantes, Ferro e Manganês).

Na segunda fase são considerados os parâmetros tóxicos (Arsênio, Bário, Fluoreto, Pesticidas e Soma dos Pesticidas), cuja presença pode comprometer a saúde humana. O $IQAS_{CH}$ foi construído de acordo com as seguintes etapas: 1) seleção de parâmetros para compor o $IQAS_{CH}$; 2) normalização dos dados pela lógica booleana; 3) estabelecimento de classes de ocorrência de amostras.

A normalização ocorre a partir da distribuição dos parâmetros em uma das três faixas de níveis de concentração, a saber: $\leq VG$ (menor ou igual ao valor guia); $VG-VMP$ (valores maiores que o valor guia e menores ou iguais que o valor máximo permitido) e $> VMP$ (acima do valor máximo permitido).

A partir da soma de ocorrência em cada faixa, os poços foram distribuídos em quatro categorias de qualidade de água, que variam de 0 a 100: Ótima e Boa, que são as classes que apresentam amostras totalmente adequadas ao consumo humano; e classe Precisa de Tratamento, que é a classe que agrupa as amostras com algum parâmetro em inconformidade em relação aos padrões de potabilidade adotados.

Depois de calculado o índice na primeira fase, a segunda, que avaliará a presença de substâncias tóxicas na água acima do VMP, é calculada também. Para tanto, é necessário apenas verificar em qual das duas classes $<VMP$ ou $>VMP$ o valor do parâmetro para a amostra se encontra. A amostra que não possuir nenhum parâmetro acima do VMP continua com o mesmo valor obtido na primeira etapa do cálculo. No entanto, a amostra que apresentar algum parâmetro acima do VMP é classificada como Imprópria ($IQAS_{CH} = 0$) para o consumo humano.

Pelo fato da informação da primeira fase se perder quando as amostras possuem algum parâmetro tóxico ($IQAS_{CH} = 0$) outra forma de agregação foi elaborada. Sendo designada como a 2ª abordagem do $IQAS_{CH}$.

Na 2ª abordagem, a agregação ocorre da mesma forma da 1ª abordagem, ou seja, a partir da soma de ocorrência em cada faixa de concentração. A diferença reside nas categorias que possuem valores fechados. As categorias Ótima ($IQAS_{CH} = 100$), Boa ($IQAS_{CH} = 75$) e Precisa de Tratamento ($IQAS_{CH} = 50$ ou 25) foram mantidas e foi acrescentada uma quarta, que é a classe Inadequada ($IQAS_{CH} = 0$), que agrupa amostras em que todos os parâmetros apresentam-se em

inconformidade para os padrões de potabilidade adotados.

As amostras são classificadas inicialmente entre 0 e 100, que foi a classificação referente a primeira etapa. O segundo momento só é realizado com as amostras que possuem alguma substância da segunda etapa (Parâmetros Tóxicos), quando o valor do índice (Primeira Etapa) é subtraído por 75 e multiplicado por -1 , para as amostras de Ótima qualidade e, subtraído por 100, para as outras classes, e dessa forma, são classificadas na segunda fase do $IQAS_{CH}$ (-25 a -100).

A decisão de definir a escala de 100 a -100 foi motivada pela necessidade do índice não perder as informações da classificação da primeira etapa. Já a divisão das classes foi realizada de acordo com a necessidade dos objetivos propostos para o $IQAS_{CH}$ em questão.

Aplicabilidade: facilidades e limitações

É preciso aplicar aquele índice que melhor se ajuste às necessidades e objetivos do caso estudado. Portanto, é indispensável que os pontos fortes e fracos do índice a ser aplicado sejam conhecidos, o que poderá ajudar na avaliação dos resultados gerados pelo IQA. No sentido de facilitar a compreensão das semelhanças e diferenças dos índices de qualidade da água apresentados, a Tabela 1 sumariza algumas facilidades e limitações dos mesmos. Um outro ponto que merece destaque na aplicabilidade dos IQAs é que é preciso estar atento às metodologias de análise dos parâmetros que vão compor os índices, pois caso não sejam as mesmas utilizadas pelo método selecionado, podem implicar em sérias interferências, que comprometerão os resultados da aplicação do índice.

Tabela 1. Facilidades e Limitações dos Índices de Qualidade de Água apresentados.

IQA	Facilidades	Limitações
IQA_H	A partir do IQA _H os índices passaram a ser vistos como ferramenta para a avaliação dos programas de redução da poluição e para informação pública (Derísio, 1992 apud CPRH, 2003).	Índice voltado para as águas superficiais e possibilita a formação de “eclipse” ou “ocultamento”, que costumam ocorrer quando o impacto negativo de algum dos parâmetros agregados em um único número é atenuado.
IQA_{NSF}	Método bastante difundido, facilita, portanto, a comparação de diferentes áreas através de estudos já realizados. A função de agregação elimina resultados com efeitos de “eclipse” ou “ocultamento”.	Ausência de algum dos parâmetros dificulta ou até mesmo inviabiliza sua aplicação, já que, a inclusão de novos parâmetros não é simples. Quando os pesos são pequenos, pode vir a ser demasiadamente não-linear.
IQA_{Prati}	As curvas de qualidade foram construídas de forma a que as novas unidades fossem proporcionais ao efeito poluente. Ou seja, mesmo que um poluente esteja presente em concentrações menores do que os outros poluentes, ela ainda irá exercer um grande impacto na pontuação do índice.	Índice voltado para as águas superficiais e possibilita a formação de “eclipse” ou “ocultamento”.
IQA_B	Os valores nas curvas ou funções de qualidade dos parâmetros são distribuídos de forma absoluta, tal fato permite inserção de novos parâmetros.	A constante de ajuste, em função do aspecto visual das águas (k), além de ser um critério subjetivo, não é apropriado para as águas subterrâneas.
IS	Método do operador mínimo elimina o “eclipse” ou “ocultamento”. Repercute com clareza ocorrências extremas.	Índice voltado para as águas superficiais. Não exprime as nuances da qualidade da água
IQA_c	O índice é aberto, sendo possível incluir parâmetros, valores de referência e os objetivos específicos (classes de enquadramento) desejados. Índice desenvolvido objetivando avaliar o monitoramento do corpo hídrico.	Método pouco difundido e empregado com composições diversas, portanto, comparação entre áreas já analisadas nem sempre é viável.
Lógica Fuzzy	É possível trabalhar as interseções existentes entre os parâmetros do mesmo grupo de alteração.	Índice fechado. Para ser aplicado com outros parâmetros é necessário construir outro IQA.
IQANAS	As curvas de qualidade foram geradas especificamente para os principais Domínios Hidrogeológicos do Estado da Bahia, com isso a adequabilidade para o local é maior. A função de agregação elimina resultados com efeitos de “eclipse” ou “ocultamento”.	A inclusão de Cloreto e Resíduos Totais pode gerar casos de redundância ou multicolinearidade em alguns pontos. Ausência de algum dos parâmetros dificulta ou até mesmo inviabiliza sua aplicação, já que, a inclusão de novos parâmetros não é simples.

SEQ	Apresenta ampla discussão sobre as concentrações dos parâmetros para os mais diversos usos e não somente o VMP como é apresentado na legislação brasileira. Trabalha com grupos de alteração, diminuindo assim, casos de redundância ou multicolinearidade.	Os parâmetros ou agrupamentos são avaliados individualmente e em grande número.
IQAS	A função de agregação elimina resultados com efeitos de “eclipse” ou “ocultamento”. Trabalha com grupos de alteração, diminuindo assim, casos de redundância ou multicolinearidade.	Índice Geral podendo não refletir a realidade de um dado local. A ausência de algum dos parâmetros dificulta ou até mesmo inviabiliza sua aplicação, já que, a inclusão de novos parâmetros não é simples.
AFC	De acordo com várias combinações de ocorrência e valores preestabelecidos as amostras são qualificadas, de forma simplificada, segundo os possíveis resultados das variáveis.	Índice fechado. Para ser aplicado com outros parâmetros é necessário construir outro IQA.
IRQ	Índice de fácil aplicação.	Índice Relativo, por isso não tão preciso. É também pouco difundido.
IQAS_{CH} 1ª abordagem	É simples e trabalha com dois grupos de parâmetros, considerando a presença de substâncias tóxicas, podendo avaliar a qualidade da água subterrânea para o consumo humano.	A informação da primeira etapa se perde quando as amostras possuem algum parâmetro tóxico.
IQAS_{CH} 2ª abordagem	É simples e trabalha com dois grupos de parâmetros sendo que a informação da primeira etapa (não tóxicos) não é perdida quando as amostras possuem algum parâmetro tóxico.	Na primeira etapa (parâmetros não tóxicos) a forma de agregação é menos progressiva ou gradual que o no IQAS _{CH} 1ª abordagem.

A escala de categorias também é um tema peculiar, principalmente, na comparação de índices. Existem índices que não adotam a escala de 0 a 100, como por exemplo o IRQ, o IQA_{Prati} e o IS. Os que adotam uma variação de 0 a 100 são apresentados na Tabela 2, onde é possível observar que o IQAS_{CH} é o mais restritivo seguido do IAQ_C. Já o IQA_B é o que possui o maior número de classes e o IQA_{NSF} (e suas adaptações) o que aceita amostras com menor valor na classe boa ($51 < IQA \geq 79$).

A 2ª abordagem do IQAS_{CH} não foi contemplada na Tabela 2, pois sua escala varia de 100 a -100: Ótima (100), Boa (75) e Precisa de Tratamento (50 ou 25) e Inadequada (0).

A parte negativa da escala é destinada à presença de parâmetros tóxicos, sendo que toda ela é pertencente a categoria Imprópria. No entanto, a classe é subdividida de forma a refletir a classificação da primeira etapa (parâmetros não tóxicos): -25, classe que agrupa amostras em que todos os parâmetros não tóxicos estão abaixo ou iguais ao VMP e há presença de algum parâmetro tóxico acima do VMP; -50; agrupa amostras em que de 1 a 3 parâmetros não tóxicos estão acima do VMP e há presença de algum parâmetro tóxico acima do VMP; -75; agrupa amostras em que de 4 a 7 parâmetros não tóxicos estão acima do VMP e há presença de algum parâmetro tóxico acima do VMP e -100, que reúne amostras em que todos os parâmetros não tóxicos estão acima do VMP e há presença de parâmetro(s) tóxico(s).

Apesar das informações da primeira etapa (avaliação dos parâmetros não tóxicos) não serem perdidas, a 2ª abordagem do IQAS_{CH} apresenta limitações, pois a quantidade de parâmetros tóxicos não é avaliada, ou seja, é verificado somente se a amostra possui ou não algum parâmetro tóxico acima do VMP, não sendo refletida na escala do índice o número de parâmetros acima. Esta é uma limitação comum a vários índices, não só do IQAS_{CH}, pois muitos deles, conforme apresentado neste capítulo não consideram parâmetros tóxicos na sua composição. No entanto, quando o uso é restritivo, como o Consumo Humano, é fundamental o uso de parâmetros que podem oferecer riscos a saúde humana.

Tabela 2: Escala dos IQAs, variação de 0 a 100 (%).

Ponderação	QA _H	IQAS _{NSF} IQANAS IQUAS	QA _B	QA _C	SEQ	IQAS _{CH} 1ª abordagem
100	Ótima	Ótima	Excelente	Ótima	Muito boa	Ótima
95	Ótima	Ótima	Muito Bom	Ótima	Muito boa	Boa
90	Boa	Ótima	Muito Bom	Boa	Muito boa	Boa
85	Boa	Ótima	Bom	Boa	Muito boa	Boa
80	Boa	Ótima	Bom	Boa	Muito boa	Precisa de Tratamento
75	Boa	Boa	Agradável	Regular	Boa	Precisa de Tratamento
70	Regular	Boa	Agradável	Regular	Boa	Precisa de Tratamento
65	Regular	Boa	Aceitável	Regular	Boa	Precisa de Tratamento
60	Regular	Boa	Aceitável	Ruim	Boa	Precisa de Tratamento
55	Regular	Boa	Normal	Ruim	Regular	Precisa de Tratamento
50	Ruim	Regular	Normal	Ruim	Regular	Precisa de Tratamento
45	Ruim	Regular	Impróprio	Ruim	Regular	Precisa de Tratamento
40	Ruim	Regular	Impróprio	Muito Ruim	Regular	Precisa de Tratamento
35	Ruim	Ruim	Desagradável	Muito Ruim	Ruim	Precisa de Tratamento
30	Ruim	Ruim	Desagradável	Muito Ruim	Ruim	Precisa de Tratamento
25	Péssima	Ruim	Ruim	Muito Ruim	Ruim	Precisa de Tratamento
20	Péssima	Ruim	Ruim	Muito Ruim	Ruim	Precisa de Tratamento
15	Péssima	Péssima	Muito Ruim	Muito Ruim	Péssima	Precisa de Tratamento
10	Péssima	Péssima	Muito Ruim	Muito Ruim	Péssima	Precisa de Tratamento
5	Péssima	Péssima	Péssima	Muito Ruim	Péssima	Precisa de Tratamento
0	Péssima	Péssima	Péssima	Muito Ruim	Péssima	Imprópria

Considerações finais

- Os índices de qualidade de água são interessantes ferramentas para subsidiar o monitoramento da qualidade da água em bacias hidrográficas, facilitando a interpretação dos resultados e a tomada de decisão. Portanto, se aplicam aos programas de pagamento por serviços ambientais.
- Os índices de qualidade de água, sejam eles para avaliar a qualidade da água superficial ou subterrânea, precisam ser selecionados de acordo com o uso que se pretende fazer da água em monitoramento, de acordo com o enquadramento dos corpos hídricos e respeitando os limites estabelecidos pela legislação.
- Os Índices de Qualidade da Água as têm geralmente em comum a seleção dos parâmetros a serem considerados, a normalização dos dados, a agregação dos parâmetros e a categorização dos resultados da aplicação do índice, fazendo a classificação da qualidade da água em níveis. Os níveis por sua vez possuem denominação diferenciada, de acordo com o tipo de índice, por exemplo: normal, aceitável, excelente, muito boa, ótima, boa, regular, desagradável, ruim, muito ruim, péssima e imprópria, sendo associados muitas vezes à cores, para facilitar a interpretação por públicos leigos no assunto.
- Na literatura são mais comuns os índices desenvolvidos para avaliar a água superficial (IQA), em relação aos aplicados à água subterrânea (IQAS), mas é importante que os últimos sejam aperfeiçoados e utilizados, pois os recursos hídricos subterrâneos são uma alternativa e reserva para utilização humana, onde há escassez de água superficial.
- Para elaboração, aplicação e compreensão de um IQA é importante que se conheça os fatores que irão interferir nos resultados. Também é preciso identificar as facilidades e limitações dos IQAs disponíveis, para que se possa fazer uma seleção apropriada, capaz de refletir do melhor modo a realidade dos recursos hídricos de uma determinada bacia hidrográfica.

Referências Bibliográficas

ALMEIDA, R. A. S.; OLIVEIRA, I. B. Aplicação do Índice de Qualidade de Água Subterrânea (IQUAS) Destinado ao Uso para Consumo Humano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 15., 2008, Natal. **[Anais...]** Natal: ABAS, 2008. 1 CD-ROM.

AURELIANO, J.; FERRAZ, A. C.; CLEMENTE, A.; FALCÃO, D. Monitoramento da Qualidade da Água com Base em Zonas Homogêneas na Bacia do Rio Ipojuca em Pernambuco. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005, João Pessoa. **[Anais...]** João Pessoa: ABRH, 2005. 1 CD-ROM.

BASCARAN, G. M. Establecimiento de una metodología para conocer la calidad del agua. **Boletín Informativo del Medio Ambiente**, Madrid, p. 30-49, 1979..

BERNARDES, R. S.; ABREU, L. M.; DORNAS, M. O índice da qualidade da água distribuída à população do Distrito Federal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., 1999, Rio de Janeiro. **[Anais...]** Rio de Janeiro: ABES, 1999. Disponível em: <<http://www.bvs.br/php/index.php>>. Acesso em: 28 nov. 2008.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria n. 518**, de 25 de Março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Disponível em: <<http://e-legis.anvisa.gov.br/>>. Acesso em: 1 jun. 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n. 396**, de 3 de Abril 2008. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama>. Acesso em: 1 maio 2008.

BROWN, R. M.; McLELLAND, N. I.; DEININGER, R. A.; TOZER, R. G. A. Water quality index – Do we dare? **Water & Sewage Works**, Chicago, p. 339-343, 1970.

CADILHAC, L.; ALBINET, M. (Coord.). **SEQ - Système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines: rapport de présentation.** [s.l.] : Agences de l'Eau. 2003. 75 p. Disponível em: <http://siecorse.eaurmc.fr/eaux_souterraines/fichiers-telechargeables/SEQSOUT0803.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2006.

CCME. Canadian Council of Ministers of the Environment. **Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME water quality index 1.0, user's manual.** In: CANADIAN Environmental Quality Guidelines, 1999, Winnipeg. [s.l.]: Environment Canada, 2001a.

CCME. Canadian Council of Ministers of the Environment. **Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: CCME Water Quality Index 1.0, technical report.** In: CANADIAN Environmental Quality Guidelines, 1999, Winnipeg. . [s.l.]: Environment Canada, 2001b.

CETESB. **Índice de qualidade da água.** Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/indice_iap_iqa.asp>. Acesso em: 10 maio 2007.

CPRH. Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Índice e indicadores de qualidade da água.** Pernambuco, 2003. v.1, 114 p. Disponível em: <<http://www.cprh.pe.gov.br>>. Acesso em 17 de nov. de 2006.

CRISTO, V.; MENEZES, J. M.; SILVA JUNIOR, G. C. Comparação entre índices de qualidade de água. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 11., 2009. **[Anais...]** São Pedro: SBGEO/SP, 2009. 1 CD – ROM.

DESHPANDE, A. W.; RAJE, D. V. Fuzzy logic applications to environment management systems: case studies. In: INDUSTRIAL INFORMATICS, 2003. INDIN 2003. **Proceedings.** IEEE International Conference on. p. 364 - 368. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/topAccessedArticles.jsp?punumber=9109>>. Acesso em: 8 set. 2007.

FANCICANI, V. R.; MORAES, I. P. S.; NARIYOSHI, M. A. C.; ONOFRE, R. M. S.; ORSATTI, W. A. Índice geral de qualidade de água distribuída pela Sabesp – IGQA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., 1999, Rio de Janeiro. [Anais...] Rio de Janeiro: ABES, 1999.

FERNANDES, R. A.; LOUREIRO, C. O. Índice relativo de qualidade (*IRQ*): um método para caracterização e hierarquização do potencial qualitativo das águas subterrâneas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA, 14., 2006, Curitiba. [Anais...] Curitiba: ABAS, 2006. 1 CD-ROM.

FERREIRA, L. M.; IDE, C. N. Avaliação comparativa da sensibilidade do IQA-NSF, IQA-Smith e IQA-Horton, aplicados ao Rio Miranda, MS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. [Anais...] João Pessoa: ABES, 2001. Disponível em: <<http://www.bvs.br/php/index.php>>. Acesso em: 28 nov. 2008.

HORTON R. K. An index number system for rating water quality. **Journal WPCF** 37, p. 300-305, 1965.

KHAN, A. A., PATERSON, R.; KHAN, H. Modification and application of the Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) for the communication of drinking water quality data in Newfoundland and Labrador. **Canadian Water Quality Research Journal**, v. 39, n. 3, p. 285-293, 2004. Disponível em: <<http://www.cawq.ca/journal/temp/article/30.pdf>>. Acesso em: 19 de maio. 2010.

LANDWEHR, J. M.; DEININGER, R. A. A Comparison of several water quality indices. **Journal of Water Pollution of Control Federation**, v. 48, n. 5, p. 954 – 958. 1976.

LUMB, A.; HALLIWELL, D.; SHARMA, T. Application of CCME Water Quality Index to Monitor Water Quality: a case study of the mackenzie river basin, Canadá. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 113, n. 1-3, feb., 2006. Disponível em:

<<http://www.springerlink.com/content/k545361v22347718/>>.
Acesso em: 19 maio 2010.

MENEZES, J. M. **Índice de qualidade de água subterrânea aplicado em área de aquíferos cristalinos com uso agrícola: bacia do rio São Domingos – RJ**. 2009. 189 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2009.

MOLOZZI, J.; DIAS, A. S.; PINHEIRO, A.; SILVA, M. R. Qualidade da água utilizada na atividade de rizicultura: caso do Município de Gaspar/SC. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005, João Pessoa. **[Anais...]** João Pessoa: ABRH, 2005. 1 CD-ROM.

MOLINA, P. M.; HERNANDEZ, F. B. T.; VANZELA, L. S. Índice de qualidade de água na microbacia degradada do córrego água da bomba – Município de Regente Feijó – SP. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 16., 2006, Goiânia. **[Anais...]** Goiânia: ABID, 2006. Disponível em:
<http://www.agr.feis.unesp.br/pdf/conird2006_iqa_agua_da_bomba.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2008.

OLIVEIRA, I. B.; NEGRÃO, F. I.; SILVA, A. G. L. S. Mapeamento dos aquíferos do Estado da Bahia utilizando o índice de qualidade natural das águas subterrâneas – IQNAS. **Revista Águas Subterrâneas**, 2007. no prelo.

PINHEIRO, A. Monitoramento e avaliação da qualidade das águas In: ROMEIRO, A. R. **Avaliação e contabilização de impactos ambientais**. Campinas: Editora da Unicamp, 2004. p. 55-73.

PRATI, L.; PAVANELLO, R.; PESARIN, F. Assessment of surface water quality by a single index of pollution. **Water Research**, New York, v.5, p. 741-751. 1971.

RIZZI, N. E. Índices de qualidade de água. **Sanare. Revista Técnica da Sanepar**, Curitiba, v.15, n.15. p.11-20, jan./jun. 2001.

SÁNCHEZ, E.; COLMENAREJO, M. F.; VICENTE, J., RUBIO, A.; GARCÍA, M. G., TRAVIESO, L.; BORJA, R. Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution. **Ecological Indicators**, v. 7, n. 2, p. 315-328. 2007.

SENA, M. C.; ROCHA, S. R. A. G.; MARTINS, M. A. L.; CALLADO, N. H.; HARRY, N. M. M. M. Monitoramento da qualidade da água no riacho das Águas do Ferro em Maceió/ AL. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005, João Pessoa. **[Anais...]** João Pessoa: ABRH, 2005. 1 CD-ROM.

SOUSA, I. V. A.; SOUZA, R. O.; PAULINO, W. D. Cálculo do índice de qualidade de água em reservatórios tropicais com estudo de caso no Acarape do Meio. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007. **[Anais...]** São Paulo: ABRH, 2007. 1 CD-ROM.

SMITH, D. G. A new form of water quality index for rivers and streams. **Water Science Technology**, New Zealand, v.21, n. 2, p. 123-127. 1987.

STIGTER, T. Y.; RIBEIRO, L.; CARVALHO DILL, .A. M. M. **Application of a groundwater quality index as an assessment and communication tool in agro-environmental policies – two portuguese case studies.** **Journal of Hydrology**, Amsterdam, n. 327, p. 578– 591, 2006.

WHO. World Health Organization. **Guidelines for drinking - water quality**. 3. ed. Geneva, 2006. Disponível em: <http://www.who.int/water_sanitation_health>. Acesso em: 12 jan. 2007.

WRIGHT, J. T. C.; GIOVINAZZO, R. A. Delphi: uma ferramenta de apoio ao planejamento prospectivo. **Cadernos de Pesquisa em Administração**, São Paulo, v. 1, n. 12, p. 54-65, 2000. Disponível em: <<http://www.regeusp.com.br>>. Acesso em: 20 fev. 2007.

ZUFFO, A. C.; GENOVEZ, A. M. Método multicriterial utilizado como indicador da qualidade de água. In: CONGRESO LATINOAMERICANO

DE HIDRÁULICA, 22., 2006, Ciudad de Guavana. [**Anais...**] Ciudad de Guavana, 2006. Disponível em: <http://www.artigocientifico.com.br/uploads/artc_1172606439_41.pdf>. Acesso em 19 jul. 2008.

*Devanir Garcia dos Santos
Antônio Félix Domingues
Cristianny Villela Teixeira Gisler*

Introdução

A poluição difusa rural, que decorre predominantemente dos processos de erosão e sedimentação, representa uma séria ameaça aos recursos hídricos do país. Esta ameaça é particularmente grave quando o corpo de água é um manancial de abastecimento. Além de causar perdas significativas dentro das propriedades, a erosão apresenta externalidades ambientais e socioeconômicas significativas, no momento em que o sedimento deixa a propriedade em direção aos cursos de água.

Os impactos econômicos da erosão são elevados quando as taxas de erosão ultrapassam os valores toleráveis. Na maioria dos solos, esta taxa, denominada de tolerância, está entre 9 a 12 toneladas por hectare por ano, sendo menor para solos menos profundos. Considerando que, na média, as taxas de erosão no Brasil estão na faixa de 15 a 20 ton/ha/ano, podemos concluir que nosso sistema produtivo ainda não é economicamente sustentável no longo prazo.

A erosão gera perdas de fertilizantes, calcário e adubo orgânico da ordem de R\$ 7,9 bilhões por ano. Se for acrescentado o efeito da erosão na depreciação da terra, de reservatórios e outros custos de conservação de estradas, tratamento de água, teriam um total de R\$ 13,3 bilhões de prejuízo por ano, segundo estimativa do Santos e Câmara (2002).

Em ambos os casos, não são apenas os produtores rurais ou os usuários de água que pagam a conta, mas toda a sociedade, uma vez que os custos de manutenção e depreciação lhe são repassados por órgãos

públicos ou privados.

Um estudo recente, patrocinado pelo Banco Mundial, concluiu que a vida útil média de 3.000 grandes reservatórios no mundo era de apenas 22 anos, menos da metade do projetado. Entretanto, não estão considerados nesse estudo os aspectos de segurança nacional dos recursos de solo e água, dos quais depende a sobrevivência das nações. Se considerados os valores intrínsecos desses recursos, eles certamente seriam muito maiores.

Em função da perda de produtividade dos solos, decorrente da erosão e da degradação, muitos produtores, principalmente de terras marginais, empobrecem a níveis abaixo da subsistência com graves consequências sociais para os países. Desse empobrecimento resultam doenças, baixo nível intelectual e escolar, e custos de manutenção de programas sociais. Muitas dessas pessoas migram para os centros urbanos em busca da sobrevivência ocasionando outros impactos e custos para eles e para a sociedade. Apesar de haver poucos estudos sobre os impactos sociais relativos à erosão dos solos, eles podem ser considerados significativos no Brasil, na casa de bilhões de reais por ano.

No tocante à sedimentação, os custos sociais são principalmente relativos à degradação da qualidade das águas de rios e lagos. O primeiro deles é relativo à transmissão de doenças de veiculação hídrica, cujos agentes ou vetores são transportados adsorvidos no sedimento (bactérias, vírus, protozoários e outros). Consumindo águas contaminadas, a população, principalmente a rural e a peri-urbana, adoece. Os custos de seu tratamento representam cerca de metade dos custos de saúde pública em países em desenvolvimento como o Brasil. Devem ser considerados também os custos de perdas de dias trabalhados em função dos períodos de doença e convalescença.

Há outros custos de natureza de sobrevivência. A sedimentação contribui negativamente para a reprodução e o estoque de peixes em rios e lagos. No caso da reprodução, valores de turbidez superiores a 50 NTU dificultam a reprodução de inúmeras espécies de peixes.

Além disso, o assoreamento de rios e lagos contribui para a destruição dos habitats naturais de reprodução de peixes, tais como lagoas marginais e poços, reduzindo as alternativas de fontes protéicas e de renda de populações ribeirinhas.

Os produtores rurais brasileiros, apesar de serem ambientalmente conscientes, têm pequena disposição de investir em manejos e práticas conservacionistas, em função do baixo nível de renda da atividade e da falta de políticas públicas ajustadas que permitam compensar os produtores rurais provedores de externalidades positivas.

A tarefa de conservação de água e solo nas bacias hidrográficas é uma atividade que depende grandemente da participação dos proprietários rurais. Como nem sempre há uma percepção de que os ganhos com esta prática extrapolam as fronteiras das propriedades rurais gerando externalidades positivas (benefícios sociais), ela acaba por não ser realizada. Isto ocorre de um lado, porque os pequenos e médios produtores rurais não têm, na maioria das vezes, renda suficiente para suportá-la sozinho e, de outro, porque, pela falta de percepção dos beneficiários, não existe disposição de pagar pelos benefícios pelos quais se apropriam.

Desta forma, mesmo havendo importantes avanços na conservação do solo no país nos últimos 20 anos, não houve, até agora, uma preocupação explícita com os efeitos fora da propriedade (*off-site*) tais como o controle da poluição difusa rural, sedimentação e dos impactos destes sobre mananciais de abastecimento situados a jusante de áreas agrícolas.

Por outro lado, o modelo provedor-recebedor (baseado em incentivos) é reconhecidamente mais eficiente e eficaz no controle da erosão e da poluição difusa do que o tradicional modelo usuário/pagador.

O Programa Produtor de Água visa aplicar esse modelo, ou seja, incentivar a compensação financeira aos agentes que, comprovadamente, contribuem para a proteção e recuperação de mananciais, gerando benefícios para a bacia hidrográfica e sua população.

O conceito dos pagamentos por serviços ambientais

Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) são transferências financeiras de beneficiários de serviços ambientais para os que, devido a práticas que conservam a natureza, fornecem esses serviços. Os PSA

podem promover a conservação através de incentivos financeiros para os fornecedores de serviços ambientais.

Esse sistema ocorre quando aqueles que se beneficiam de algum serviço ambiental gerado, por certa área realizam pagamentos para o proprietário ou gestor da área em questão. Ou seja, o beneficiário faz uma contrapartida visando o fluxo contínuo e a melhoria do serviço demandado. Esse modelo complementa o consagrado princípio do “usuário-pagador”, dando foco ao fornecimento do serviço, adotando o princípio do “provedor-recebedor”, onde os usuários pagam e os conservacionistas recebem.

Trata-se de uma política recente e inovadora que está atraindo muita atenção tanto em países desenvolvidos como em desenvolvimento. A inovação envolve um afastamento das políticas ambientais de comando e controle, utilizando as forças de mercado para obter maiores resultados ambientais e recompensando os provedores de serviços ambientais, os quais não vinham, até então, recebendo qualquer compensação.

Conectar os pagamentos por serviços ambientais com desenvolvimento econômico e redução de pobreza é assunto de importância nos países em desenvolvimento por várias razões. Os PSA podem representar uma nova fonte de apoio financeiro para objetivos políticos de desenvolvimento econômico e ambiental desses países, através da utilização de fundos da comunidade global em favor dos Provedores de Serviços Ambientais.

Países em desenvolvimento são potencialmente importantes provedores de serviços ambientais globais, por terem condições de produzi-los a custos competitivos ou por serem eles a única fonte de serviços ambientais, que muitas vezes são de localização específica. A conservação da biodiversidade é um exemplo disso. Os países em desenvolvimento são os únicos ricamente dotados de espécies e ecossistemas não encontrados no mundo desenvolvido. A mitigação do efeito estufa através de projetos de sequestro de carbono é outro exemplo. Sua produção não é de localização específica, mas países em desenvolvimento, podem ser competitivos fornecedores devido ao baixo custo de oportunidade do trabalho e da terra.

O desenvolvimento desse tipo de programa no nível local é muito importante do ponto de vista econômico, pois, além do impacto

dos pagamentos no emprego e na renda, pode haver significativos benefícios ao desenvolvimento econômico associado ao próprio serviço ambiental. Em muitos casos, problemas ambientais criam maiores barreiras ao desenvolvimento econômico. Por exemplo, solos degradados causam redução na produtividade agrícola, prejudicam a qualidade da água causando doenças e problemas de saúde, além de reduzir a disponibilidade de água em muitas partes do mundo. Os PSA podem ser meios efetivos de lidar com estes problemas.

O conceito de externalidade é chave para entender as motivações para os programas de PSA. A humanidade usa os recursos naturais e o meio ambiente gerando externalidades positivas ou negativas, que impactam a sociedade atual e as futuras gerações. A premissa básica para o pagamento por serviços ambientais é compensar os agentes econômicos que manejam o meio ambiente e os recursos naturais gerando bens ambientais e serviços que beneficiam não somente ele mesmo, mas principalmente a sociedade, seja a sociedade local, a sociedade regional ou mesmo a sociedade global.

Estes bens e serviços podem, também, gerar benefícios privados, mas o objetivo principal desses programas é o fornecimento de incentivos para aqueles que geram os benefícios que vão além de seu benefício privado. Então, quando alguém planta árvores de espécies nativas, que podem desempenhar um importante papel na melhoria da infiltração da água no solo, ou na redução do nível de sedimentos carregados para os cursos de água, além de promover sequestro de carbono, contribuindo para a redução do efeito estufa e criar habitat para a vida selvagem, esse alguém, acima de tudo, é um fornecedor de serviços ambientais e, portanto, passível de compensação pela prestação destes serviços pelos beneficiários dos mesmos.

Contudo, o conceito de pagamento por serviços ambientais é ainda relativamente novo. Apenas recentemente os governos, as agências internacionais, e as pessoas têm começado a reconhecer o importante papel que os agricultores e usuários das áreas rurais podem ter na melhoria do manejo ambiental.

Além do caráter econômico, os sistemas de PSA contribuem na educação (conscientização) ambiental na medida em que insere uma nova relação entre os fornecedores dos serviços e os beneficiários, e entre esses e a natureza.

Se os beneficiários são todos os agentes, privados ou públicos, que são favorecidos pelos serviços ambientais oriundos de práticas que conservam a natureza, então nesta categoria encontram-se órgãos gestores como Comitês de Bacias Hidrográficas.

Já no grupo dos fornecedores de serviços destacam-se áreas onde o uso do solo por parte dos proprietários (como agricultores), em sua maioria, enfraquece a geração dos serviços, mas onde uma mudança nas práticas correntes pode alterar esse quadro e assim fortalecer a oferta desses serviços.

O PSA aparece como uma forma de agregar valor monetário aos serviços gerados, tornando a oferta de serviços ambientais parte da decisão estratégica dos agentes, pois os usuários terão um incentivo direto a tornar suas práticas mais sustentáveis.

O Programa Produtor de Água

É um programa voluntário de controle da poluição difusa rural, dirigido prioritariamente a bacias hidrográficas de importância estratégica para o país (BRASIL, 2008).

Pagamentos são feitos pelos agentes participantes aos produtores rurais que, através de práticas e manejos conservacionistas, contribuam para o abatimento efetivo da erosão e da sedimentação e para o aumento da infiltração de água no solo, segundo o conceito provedor-recebedor. Estes agentes podem ser entidades federais, estaduais, prefeituras municipais, organizações não governamentais, comitês e agências de bacias e outros.

Em suma, o Programa reconhece que o setor agrícola tem grande potencial para produção de serviços ambientais e estimula esse procedimento, na certeza de que se trata de uma ação difusa, a qual o Estado dificilmente teria condições de executar de forma holística e, mesmo que isso fosse possível, os custos seriam muito maiores em função desse mesmo caráter difuso.

Tem como foco a redução da erosão, melhoria da qualidade da água e aumento das vazões dos rios, utilizando-se práticas edáficas, mecânicas e vegetativas de conservação de solo e água, readequação das estradas vicinais e construção de fossas sépticas nas propriedades rurais. Entre as ações elegíveis, pode-se citar a construção de terraços e

barraginhas, a proteção de nascentes, recuperação das matas ciliares e vegetação dos topos de morro.

O Programa é flexível quanto aos manejos e práticas conservacionistas. Entretanto, os mesmos deverão aportar, de forma comprovada, benefícios ambientais ao manancial de interesse. Estes benefícios incluem o abatimento da sedimentação e da turbidez da água e o aumento da infiltração de água no solo.

Os pagamentos serão feitos durante ou após a implantação de um projeto específico previamente aprovado e cobrirão, total ou parcialmente, os custos da prática implantada, dependendo de sua eficácia de aumento da infiltração de água e abatimento da poluição difusa. Para tanto, contratos são celebrados entre os agentes financiadores e os produtores participantes.

As sub-bacias para, serem selecionadas, deverão situar-se na região definida pelo Plano de Recursos Hídricos da bacia hidrográfica, como áreas prioritárias para a produção de água.

O presente projeto inova, ao sair da vala comum do repasse de recursos para a execução de ações ou obras em propriedades públicas ou particulares de interesse público, e inaugura uma nova era na qual os pagamentos são feitos pelos serviços ambientais comprovadamente prestados e com efetiva participação da sociedade.

Agentes que já adotam práticas conservacionistas, comprovadamente efetivas na bacia selecionada, serão incentivados a continuar com elas. Esses bons atores também receberão, a título de incentivo os valores de referência das práticas já adotadas pagos a um novo empreendimento ou os valores pagos pelas áreas reflorestadas a título de remuneração pelas florestas existentes.

Objetivos do Programa Produtor de Água

O Programa Produtor de Água, ainda que possa gerar algum benefício individual, tem como principal objetivo a execução de ações que alterem, de modo considerado benéfico à coletividade, a qualidade, a quantidade e o regime de vazão das bacias hidrográficas, tendo também os demais objetivos:

- difundir e discutir o mercado de serviços ambientais, explicitando produtos ecossistêmicos gerados através da ação antrópica (serviços

ambientais) sobre bacias hidrográficas;

- aumentar a oferta de água nas bacias hidrográficas, por meio da adequada alimentação do lençol freático, a ser obtida com o uso de práticas mecânicas e vegetativas que aumentem a infiltração de água no solo;
- reduzir os níveis de poluição difusa rural em bacias hidrográficas estratégicas para o país, principalmente aqueles decorrentes dos processos de erosão, sedimentação e eutrofização;
- difundir o conceito de manejo integrado do solo e da água através da conscientização e do incentivo à implantação de práticas e manejos conservacionistas e da preservação e recuperação de florestas nativas;
- garantir a sustentabilidade socioeconômica e ambiental dos manejos e práticas implantadas, por meio de incentivos financeiros aos agentes selecionados.

Metas do Programa Produtor e Água

- redução de no mínimo 50% da erosão e da sedimentação nas bacias selecionadas;
- recuperação (construção de cercas e enriquecimento) das áreas de preservação permanente das propriedades rurais participantes;
- recomposição (identificação, construção de cercas e enriquecimento) das áreas de reserva legal das propriedades rurais participantes;
- treinamento de potenciais agentes executores do Programa (Estados, comitês de bacias, cooperativas e outros.) em relação aos seus critérios e procedimentos.

Fontes de Recursos do Programa Produtor de Água

A lógica do programa pressupõe a criação de um mercado regional para os serviços ambientais, onde estejam claramente definidos os prestadores de serviços ambientais e os beneficiários dos mesmos. Sendo assim, a alocação de recursos por parte dos beneficiários é condição indispensável para a implementação do Programa, além dos recursos próprios do beneficiários, outras fontes de recursos podem ser consideradas, tais como:

- ❑ recursos da cobrança pelo uso dos recursos hídricos;
- ❑ das empresas de saneamento, geração de energia elétrica e usuários;
- ❑ dos Fundos Estaduais de Recursos Hídricos; Do Fundo Nacional de Meio Ambiente;
- ❑ do Orçamento Geral da União;
- ❑ do orçamento de Estados, Municípios e Comitês de Bacias;
- ❑ compensação financeira por parte de usuários beneficiados;
- ❑ mecanismo de Desenvolvimento Limpo / Protocolo de Kyoto;
- ❑ Organismos Internacionais (ONG's, GEF, BIRD e outros); e
- ❑ financiamento de bancos de investimento oficiais (Banco do Brasil e BNDES).

Estimativa dos impactos do Programa Produtor de Água para os recursos hídricos

Os benefícios gerados pelo abatimento da erosão serão avaliados através de indicadores simples e eficazes tais como a vazão e a turbidez da água em cursos de água da bacia selecionada e em períodos pré-estabelecidos. Estas medições serão conduzidas por técnicos da contratante, da unidade de gestão do projeto ou de entidade devidamente credenciada (certificadora).

Tendo em consideração a necessidade de aprimoramento da avaliação desses benefícios, é necessário um programa de monitoramento.

Os dados obtidos nesse monitoramento não terão o condão de alterar as cláusulas estabelecidas em contratos já firmados. No entanto, serão de fundamental importância para melhor avaliação dos benefícios gerados pelas diversas práticas mecânicas e vegetativas utilizadas, possibilitando assim o ajuste dos indicadores para a contratação de novos projetos no âmbito do Programa.

Seleção de bacias hidrográficas no Programa Produtor de Água

As bacias hidrográficas elegíveis no Programa são aquelas, cujos usuários estejam dispostos a criar um mercado para pagamento dos serviços ambientais e que, preferencialmente, atendam aos

seguintes critérios:

- a) bacias hidrográficas que já tenham os instrumentos de gestão, previstos na Lei 9.443/97, implementados;
- b) a bacia hidrográfica cujo Plano de Recursos Hídricos identifique problemas de poluição difusa de origem rural, erosão e déficit de cobertura vegetal em APP's e proponha ações de mitigação desses impactos;
- c) a bacia hidrográfica de um manancial de abastecimento de água para uso urbano ou industrial;

Caberá ao Comitê de Bacias identificar e hierarquizar as sub-bacias prioritárias no âmbito de sua jurisdição.

Definição do Percentual de Abatimento de Erosão (P.A.E. %)

Os pagamentos aos participantes do Programa Produtor de Água serão proporcionais aos benefícios ambientais gerados pelas práticas ou manejos implantados na propriedade, no que diz respeito ao abatimento de sedimentação aos corpos d'água da bacia.

A primeira premissa do Programa é que, com a adoção das práticas conservacionistas, o aporte de sedimento anual (Y , em t/ano) a um ponto da bacia (por exemplo, uma captação para abastecimento) é reduzido na mesma proporção que a redução da erosão total na mesma (At , em t/ano). A relação entre Y e At é a encontrada na equação 1.

$$Y = (SDR) * At \quad (1)$$

Onde:

SDR (relação de aporte de sedimentos) é uma constante (adimensional, variando entre 0 e 1) que depende de fatores fisiográficos da bacia. Estudos sedimentológicos em vários países indicam que o SDR é inversamente proporcional à área da bacia ($SDR \approx 1/\text{Área}^{0,2}$).

A erosão total na bacia (At), por sua vez, é a soma das erosões individuais das suas glebas e vertentes. Por outro lado, a erosão em uma gleba depende de vários fatores, tais como o clima, a topografia, a erodibilidade do solo e o tipo de uso e manejo do solo.

A segunda premissa do Programa é que a razão entre a erosão antes e depois da implantação da prática conservacionista é igual à razão entre os fatores de risco de erosão do solo, antes e depois, dada pela equação 2:

$$A_1/A_0 = \Phi_1/\Phi_0 \quad (2)$$

Onde:

A (t/ha/ano) é a perda de solo na gleba, antes (A_0) e depois (A_1) da implantação da prática conservacionista, Φ_0 é o fator de risco de erosão proporcionado pelo uso e manejo atual e Φ_1 é o fator de risco de erosão proposto, estes últimos tabelados.

Uma vez que a gleba e as condições de contorno (clima, topografia, solo) são as mesmas antes e depois da adoção da prática conservacionista, a única variável alterada seria Φ .

Assim, a seguinte relação pode ser obtida pela equação 3:

$$\text{P.A.E. (\%)} = 100 (1 - \Phi_1 / \Phi_0) \quad (3)$$

Onde:

P.A.E. (%) é o abatimento de erosão proporcionado pela prática adotada.

O raciocínio é que, abatendo-se um percentual da erosão original em uma gleba ou propriedade da bacia, a sedimentação referente a essa gleba será reduzida na mesma proporção (conforme indica a equação 1).

No caso da estimativa do Percentual de Abatimento de Erosão (P.A.E.) em uma propriedade individual, estima-se os valores de Φ antes e depois da aplicação da prática e, em seguida, aplica-se a equação 3.

Já para a estimativa dos benefícios de abatimento global da erosão na bacia, aplicase a equação 3 a todas as propriedades participantes do Programa na bacia e, através dos valores ponderados de Φ_1 e Φ_0 , obtém-se o valor global de P.A.E., em percentagem de abatimento.

A grande vantagem deste método é a simplicidade e a robustez, já que o mesmo não requer o conhecimento de todas as variáveis da USLE para a estimativa do abatimento de erosão.

Valores de Φ para diferentes usos e manejos do solo

De forma a obter os valores de Φ para diferentes práticas e manejos do Programa, dados foram levantados na literatura, em função de experimentos em parcelas de enxurrada e em micro-bacias experimentais no Brasil e nos EUA.

A Tabela 1 lista os valores de Φ ¹⁷ para estes diferentes tipos de uso e manejo do solo, de forma a se obter o P.A.E. para os projetos do Programa.

¹⁷ Os valores de Φ são determinados pela multiplicação de C e P (variáveis componentes da USLE).

Tabela 1. Valores de C, P e Φ para diferentes usos e manejos do solo.

Nº.	Manejo Convencional	C	P		Obs.
1	Grãos	0,25	1,0	0,25	Milho, soja, arroz, feijão
2	Algodão	0,62	1,0	0,62	
3	Mandioca	0,62	1,0	0,62	
4	Cana-de-açúcar	0,10	1,0	0,10	Média de 4 cortes
5	Batata	0,75	1,0	0,75	
6	Café	0,37	1,0	0,37	
7	Hortaliças	0,50	1,0	0,50	
8	Pastagem degradada	0,25	1,0	0,25	
9	Capoeira degradada	0,15	1,0	0,15	
	Manejo Conservacionista	C	P		Obs.
10	Grãos, rotação	0,20	1,0	0,20	Gramínea/Leguminosa
11	Grãos, em nível	0,25	0,5	0,13	
12	Grãos, rot., em nível	0,20	0,5	0,10	
13	Grãos, faixas veg.	0,25	0,3	0,08	Faixas c/ 20% larg.
14	Grãos, cordões veg.	0,25	0,2	0,05	
15	Grãos, terraços	0,25	0,1	0,03	Em nível, com manut.
16	Grãos, rot., terraços	0,20	0,1	0,02	
17	Grãos, pl. direto	0,12	0,1	0,01	Média de 4 anos
18	Alg./mandioca, rotação	0,40	1,0	0,40	Rotação com grãos
19	Alg./mandioca, nível	0,62	0,5	0,31	
20	Alg./mandioca, rot., nível	0,40	0,5	0,20	
21	Alg./mandioca, faixas	0,62	0,3	0,19	
22	Alg./mandioca, cordões veg.	0,62	0,2	0,12	
23	Alg./mandioca, terraços	0,62	0,1	0,06	
24	Alg./mandioca, rot., terraços	0,40	0,1	0,04	
25	Alg./mandioca., plantio direto	0,40	0,1	0,04	
26	Cana, em nível	0,10	0,5	0,05	
27	Cana, em faixas	0,10	0,3	0,03	
28	Cana, terraços	0,10	0,1	0,01	
29	Batata, em nível	0,75	0,5	0,38	
30	Batata, em faixas	0,75	0,3	0,23	
31	Batata, terraços	0,75	0,1	0,08	
32	Café, em nível	0,37	0,5	0,19	
33	Café, em faixas	0,37	0,3	0,11	
34	Hortaliças, em nível	0,50	0,5	0,25	
35	Pastagem recuperada	0,12	1,0	0,12	
36	Pastagem, rotação c/ grãos	0,10	1,0	0,10	
37	Reflorestamento	0,05	1,0	0,05	
	Situação	C	P		Obs.
38	Estrada degradada	0,50	1,0	0,50	
39	Estrada conservada	0,50	0,2	0,10	Retaludamento, baciões

Manejo convencional

Em função dos valores de Φ obtidos da Tabela 1, serão calculados os Percentuais de Abatimento de Erosão (P.A.E.) para cada projeto proposto no Programa, através da equação 3. Em seguida, valores financeiros de referência (V.R.E.) serão estimados para cada hectare dos projetos individuais, de forma a se obter o valor total do

pagamento ao produtor participante.

Para fins de enquadramento de algumas ações de conservação de água e solo não previstas na Tabela 1, deverão ser adotados os seguintes critérios:

a) Pastagem

Pastagem degradada – item 08 da Tabela 1.

Pastagem recuperada – item 35 da Tabela 1.

Enquadram-se neste item as ações de subsolagem, implantação de barraginhas, melhoria da fertilidade (correção da acidez, adubação e outros) e recuperação da cobertura vegetal (formação de pastagem, enriquecimento com leguminosas, recuperação da pastagem e pastejo rotacionado). Pode-se atingir até 75% de redução da erosão, desde que seguida integralmente a orientação da Assistência Técnica.

- Subsolagem, correção da acidez, adubação – P.A.E. = 25 a 50 %;
- Barraginhas, recuperação da cobertura vegetal – P.A.E. = 51 a 75 %;

b) Pastagem recuperada com conservação de solo (barraginhas ou terraços)

Utiliza-se este termo, quando são utilizadas simultaneamente as práticas mecânicas e vegetativas de proteção do solo. Enquadram-se na faixa > 75% de redução da erosão desde que seguida integralmente a orientação da Assistência Técnica.

c) Barraginhas

Devem ser consideradas, para efeito da aplicação da Tabela 1, como uma prática alternativa ao terraceamento, tendo em vista a limitação da utilização de terraços em áreas com declividades superiores a 15%. Sendo assim, poderá ser projetada, segundo critérios técnicos, uma malha de barraginhas que possibilite coletar e infiltrar a maior parte da água de escoamento superficial, reduzindo a erosão e melhorando a alimentação do lençol freático.

Sugere-se que esta prática, quando utilizada isoladamente, se

adequadamente dimensionada e aplicada em regiões com nível de cobertura vegetal suficiente para evitar erosão, seja considerada de eficiência superior a 75% de redução de erosão, caindo para uma faixa de 51 a 75 % quando a cobertura vegetal não for suficiente à adequada proteção do solo.

Nos casos de o projeto elaborado não ser integralmente implantado, caberá à Assistência Técnica reavaliar o enquadramento da prática, podendo nesses casos a eficiência de redução da erosão ser inferior a 50%.

A Tabela 2 lista os valores de referência, em função do abatimento de erosão na gleba.

Tabela 2. Valores de Referência para Pagamento (V.R.E)

Indicador	Faixa		
	P.A.E. (%)	25-50	51 -75
V.R.E (R\$/ha/ano) Projetos novos	-	-	-
V.R.E (R\$/ha/ano) Projetos existentes	-	-	-

É importante ressaltar que os valores definitivos serão estabelecidos para cada bacia hidrográfica, conforme suas características.

Apesar de o Programa ser flexível e permitir todos os tipos de práticas e manejos, um valor mínimo de abatimento de erosão (25%) é necessário para que o projeto proposto seja aceito. Além disso, em uma primeira etapa do Programa, sugere-se que seja estipulado um limite máximo de hectares para cada produtor participante.

Correlação entre o abatimento de erosão e o aumento de infiltração de água no solo

Apesar de o Programa Produtor de Água considerar, de forma explícita, apenas o abatimento relativo à erosão (para facilitar sua aplicação no campo), há uma correlação óbvia entre este e o aumento de infiltração de água no solo, o qual irá contribuir para a recarga dos aquíferos e o aumento da disponibilidade de água nos mananciais durante a estação seca.

Assim, uma correlação entre os valores de Φ da Tabela 1 e os respectivos valores do parâmetro número-curva (CN)¹⁸ do *US-Soil Conservation Service* foi estabelecida para usos e manejos típicos. Essa correlação é apresentada na Figura 1.

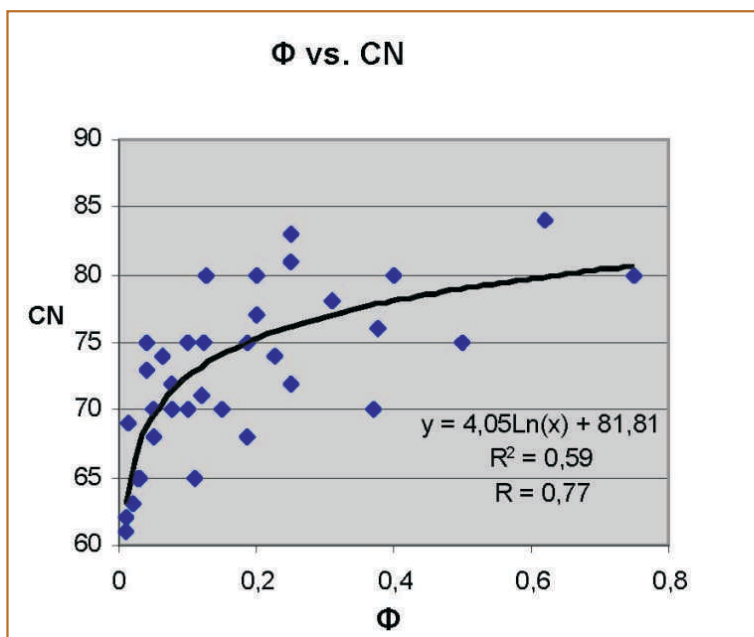


Figura 1. Correlação entre os valores de Φ e CN para diferentes usos e práticas.

Pela Figura 1, nota-se que há uma razoável correlação positiva ($R=0,77$) entre os parâmetros de abatimento de erosão (Φ) e os de escoamento superficial (CN), reforçando o fato de que apenas um deles (Φ) pode ser usado para estimar ambos os processos¹⁹.

Esta simplificação facilitará, por sua vez, a certificação dos benefícios ambientais das práticas do Programa por parte das instituições responsáveis.

¹⁸ O parâmetro número-curva é uma metodologia utilizada na estimativa do escoamento superficial. É amplamente utilizado, pois depende de poucos parâmetros e por estes estarem relacionados às características físicas da bacia hidrográfica.

¹⁹ Apesar do volume de escoamento superficial (Q) depender do valor da precipitação (P), simulações com diferentes valores de P na equação do USDA-SCS (1972) indicam que a correlação entre Q e Φ são semelhantes àquela da Figura 1.

Difusão e Experimentação de um Sistema de Pagamentos por Serviços Ambientais para restauração da “saúde ecossistêmica” de microbacias hidrográficas dos mananciais da sub-bacia do Cantareira

Em junho de 2007, os Comitês das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (Comitês PCJ) aprovaram o primeiro projeto dentro do Programa Produtor de Água, denominado de “Difusão e Experimentação de um Sistema de Pagamentos por Serviços Ambientais para a Restauração da 'Saúde Ecossistêmica' de Microbacias Hidrográficas dos Mananciais da Sub-bacia do Cantareira”. A iniciativa está sendo colocada em prática inicialmente nas sub-bacias definidas pelo Plano de Bacia das bacias PCJ como prioritárias para a produção de água: do ribeirão Moinho (Nazaré Paulista-SP), do ribeirão das Posses (Extrema-MG) e do ribeirão Cancan (Joanópolis-SP).

O projeto, proposto para ser realizado com o financiamento dos recursos da Cobrança Federal do Comitê PCJ, está inserido em um trabalho mais amplo que será executado mediante a cooperação entre as equipes da *The Nature Conservancy* (TNC), da Superintendência de Implementação de Programas e Projetos da Agência Nacional de Águas (ANA), do Programa Estadual de Microbacias Hidrográficas (PEMH), da Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI), da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (SAA), do Projeto de Recuperação de Matas Ciliares (PRMC), da Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA) e da Prefeitura Municipal de Extrema (PME).

Contextualização

O Sistema Cantareira pela sua importância e influência quanto à garantia de 56% da água da Grande São Paulo, bem como, das vazões complementares para os municípios de jusante da bacia do rio Piracicaba, tem sido motivo de preocupações com o equilíbrio e a recuperação de suas fontes alimentadoras de vazão. A bacia do rio Piracicaba ocupa uma área de 12.746km², com 45 municípios paulistas e 05 mineiros. Por tratar-se de uma região crítica quanto à quantidade das águas subterrâneas, os mananciais superficiais são os responsáveis

pela sobrevivência regional.

Na década de 60, em função da necessidade de maior quantidade de água para a região da grande São Paulo, foram realizados muitos estudos e algumas alternativas foram apontadas. A opção adotada e implantada a partir do final dos anos 60, foi a de procurar água para São Paulo na região das cabeceiras (nascentes) da bacia do rio Piracicaba, surgindo então o “Sistema Cantareira”. O Sistema Cantareira é composto por quatro grandes reservatórios, formados pelos rios Jaguari, Jacareí, Cachoeira, Atibainha e Juqueri, dos quais os três primeiros localizam-se nas cabeceiras da bacia hidrográfica do rio Piracicaba e o último na bacia do Alto Tietê.

As poluições difusas das áreas rurais, que decorrem predominantemente dos processos de erosão e sedimentação, representam uma séria ameaça aos recursos hídricos das bacias do Comitê BCJ. Esta ameaça é particularmente grave, uma vez que parte significativa destes corpos d'água são mananciais para abastecimento urbano em uma região com elevada densidade demográfica.

Além de causar perdas significativas dentro das propriedades, a erosão apresenta externalidades ambientais e socioeconômicas significativas no momento em que o sedimento deixa a propriedade, em direção aos cursos d'água.

Mesmo havendo importantes avanços na conservação do solo no País nos últimos 20 anos, não houve, até agora, uma preocupação explícita com os efeitos fora-da-propriedade (*off-site*), tais como o controle da poluição difusa rural, sedimentação e dos impactos destas sobre mananciais de abastecimento, situados a jusante de áreas agrícolas. Da mesma forma, apesar da existência do Código Florestal há mais de 40 anos, a recuperação de áreas de preservação permanente não tem-se efetivado.

Buscando modificar esta situação, utiliza-se neste caso o modelo provedor-recebedor (baseado em incentivos), mais eficiente e eficaz no controle da erosão e da poluição difusa do que o tradicional modelo usuário-pagador, e tem a vantagem de também ser aplicável como estímulo à restauração das áreas florestais importantes para o restabelecimento dos serviços ecossistêmicos.

O Programa, denominado Produtor-Conservador de Água, é na verdade uma experiência piloto do Programa Produtor de Água da ANA

e visa aplicar esse conceito através da implantação de um modelo de sistema de pagamentos por serviços ambientais; ou seja, pretende testar se o incentivo mediante compensação financeira aos agentes que, comprovadamente, contribuírem para a proteção e recuperação de mananciais, auxilia a recuperação do potencial de geração de serviços ecossistêmicos, provendo benefícios para a bacia e para sua população. As intervenções a serem realizadas permitirão a melhoria substancial na qualidade e na vazão média dos mananciais. A adequação ambiental das propriedades rurais direcionará o desenvolvimento agrícola da bacia de forma sustentável.

Estas ações serão dirigidas prioritariamente aos produtores rurais, responsáveis pelo uso e manejo do solo. Os recursos financeiros (alocados mediante contratos individuais) serão liberados aos produtores para compensar seu esforço na produção de serviços ambientais, proporcionados pelas práticas conservacionistas que reduzem a erosão, e outras ações de recuperação da cobertura florestal e manutenção de matas nativas. O apoio financeiro aos produtores rurais pelos serviços ambientais prestados garantirá a sustentabilidade do projeto, pois o proprietário rural será o principal interessado em cumprir as metas estabelecidas para poder receber o apoio financeiro.

O Projeto Piloto “Produtor/Conservador de Água”

Este projeto abrange a sub-bacia do Cantareira, com experiência piloto, de pagamentos por serviços ambientais, realizadas nas microbacias do Ribeirão do Moinho em Nazaré Paulista, Ribeirão Cancã em Joanópolis e Ribeirão das Posses, em Extrema, os dois primeiros localizados no estado de São Paulo e o último, localizado no Estado de Minas Gerais, cujos resultados serão difundidos na área de abrangência do Sistema Cantareira.

As microbacias paulistas foram selecionadas segundo critérios de seleção aprovados pelo Comitê de Bacia Hidrográfica do PCJ, para a implantação de projetos demonstrativos de recuperação de matas ciliares no âmbito do Projeto de Recuperação de Matas Ciliares desenvolvido pela Secretaria de Meio Ambiente (SMA). Também estão inseridas no Programa Estadual de Microbacias Hidrográficas, desenvolvido pela SAA/CATI. A microbacia mineira foi escolhida de

acordo com critérios definidos pela Prefeitura de Extrema, na regulamentação da Lei Municipal, que cria o Programa “Conservador das Águas”.

Os critérios de seleção definidos pela Câmara Técnica de Recursos Naturais e referendados pelo plenário do Comitê, consideram a importância da área para a produção de água e para a conservação da biodiversidade, a existência ou o potencial de mobilização e organização de produtores, outras iniciativas para a recuperação de matas ciliares, a estrutura fundiária priorizando áreas com predominância de pequenas propriedades e maiores índices de pobreza, a fragilidade do meio e o tipo de atividade atual e a priorização definida pelo plano da bacia.

É importante ressaltar que as três microbacias indicadas estão localizadas em áreas prioritárias para a produção de água, conforme mapeamento efetuado pelo Comitê PCJ (Figura 2).

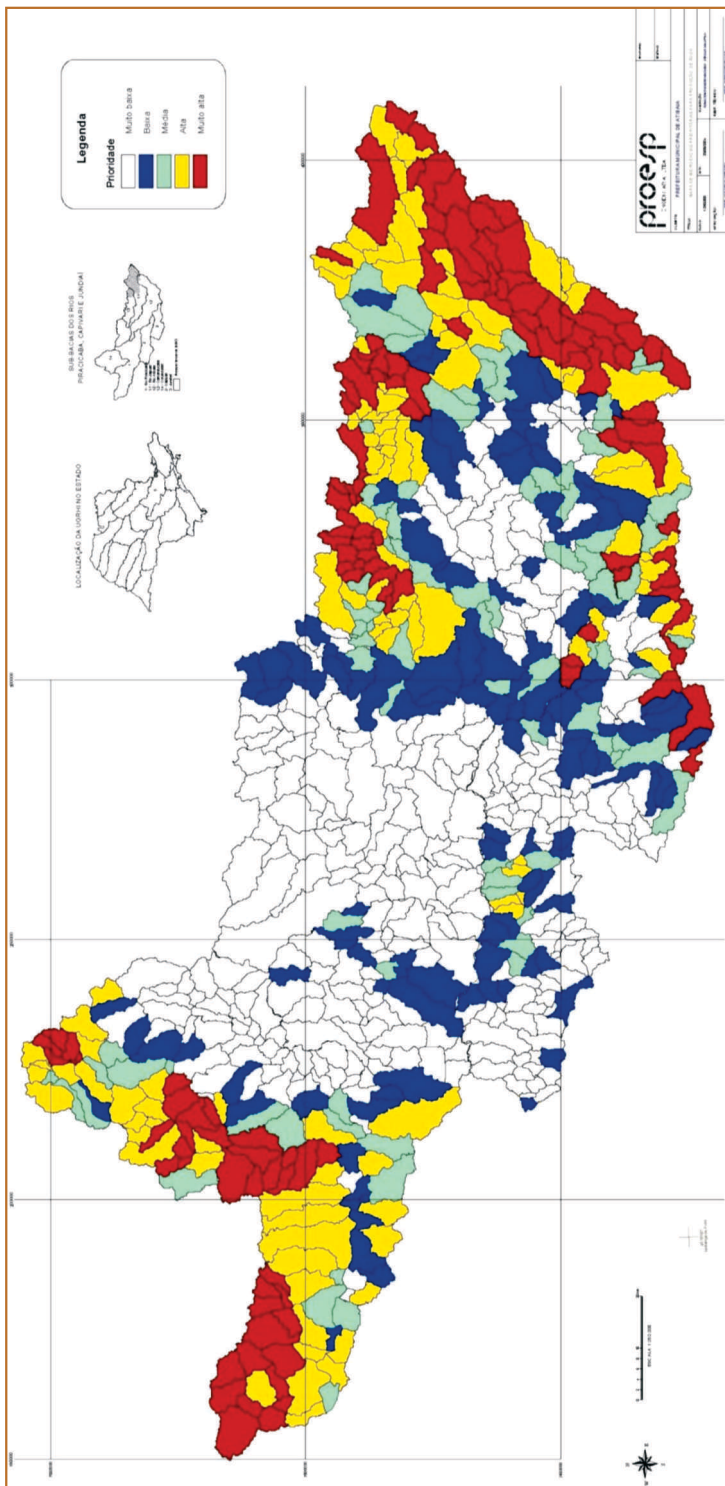


Figura 2. Microbacias prioritárias para a produção de água nas bacias hidrográficas dos Rios PCJ.

O Projeto seguirá as diretrizes e conceitos do Programa de Incentivo ao Produtor de Água, desenvolvido pela ANA (apresentado e aprovado na 12ª Reunião Ordinária da Câmara Técnica de Uso e Conservação da Água no Meio Rural / PCJ, em 11 de agosto de 2006), que é um programa voluntário de restauração do potencial hídrico e do controle da poluição difusa no meio rural. Neste projeto serão feitos pagamentos aos produtores rurais que, através de práticas e manejos conservacionistas e de melhoria da cobertura vegetal, venham a contribuir para o aumento da infiltração de água e para o abatimento efetivo da erosão e da sedimentação.

Os pagamentos aos produtores serão baseados na realização das práticas recomendadas pelos técnicos participantes do Projeto, práticas estas relacionadas à conservação do solo e à manutenção da qualidade e quantidade de água.

Agentes que já vêm adotando práticas conservacionistas nas sub-bacias do Ribeirão do Moinho, Ribeirão Cancã e Ribeirão das Posses, serão incentivados a continuar com elas.

Participam do Projeto Piloto de Pagamento por Serviços Ambientais os produtores rurais (pessoas físicas ou jurídicas), devidamente inscritos no Cadastro de Produtores Rurais dos Estados de São Paulo e Minas Gerais, respectivamente, se suas propriedades estiverem inseridas nas sub-bacias hidrográficas do Ribeirão do Moinho, em Nazaré Paulista, e do Ribeirão Cancã, em Joanópolis, conforme definição do Programa Estadual de Microbacias Hidrográficas da CATI/SAA, no primeiro caso e na sub-bacia das Posses, em Extrema, no segundo caso.

Objetivo geral do Programa Conservador das Águas

Avaliar o grau de eficácia de um Sistema de Pagamentos por Serviços Ambientais como estímulo à adoção de práticas de conservação de solo e água e restauração de áreas de preservação permanente em 3 micro-bacias hidrográficas.

Objetivos específicos do Programa Conservador das Águas

Os objetivos específicos do Programa são:

- a) Aplicar metodologia específica do Programa Produtor-Conservador de Água nas sub-bacias do Cancã, em Joanópolis, do Moinho, em Nazaré Paulista e das Posses, em Extrema;
- b) Difundir e discutir o conceito de serviços ambientais;
- c) Difundir, na área de abrangência do projeto o conceito de manejo integrado do solo e da água através da conscientização e do incentivo à implantação de práticas conservacionistas e a preservação e recuperação de florestas nativas;
- d) Determinar o abatimento, por simulação, da sedimentação nos cursos d'água e comparar os resultados obtidos nas sub-bacias piloto com os resultados de sub-bacias testemunhas escolhidas da área de estudo do projeto.
- e) Avaliar a percepção do proprietário rural sobre serviços ecossistêmicos.
- f) Treinar potenciais agentes replicadores do Projeto em relação aos seus critérios e procedimentos na sub-bacia do Cantareira.
- g) Divulgar os resultados do projeto na área de abrangência do Sistema Cantareira.

Metas do Programa Conservador das Águas

As metas do projeto são: Difusão e comunicação do Projeto e do Conceito de Pagamentos por Serviços Ambientais, Diagnóstico das Propriedades Interessadas, Conservação de solo, Saneamento ambiental, Implantação de Reserva Legal, Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA), Monitoramento do Projeto, Coordenação e gerenciamento do projeto.

Outra meta seria a difusão e comunicação do Projeto e do Conceito de Pagamentos por Serviços Ambientais. Esta meta foi prevista para avaliar o estágio atual do conhecimento popular sobre serviços ambientais, propor formas de ampliar o conhecimento sobre estes serviços e verificar a eficácia das ações promovidas.

Também neste componente, estão as ações referentes à comunicação geral do Projeto, para os produtores rurais e outros públicos-alvo do mesmo. O Plano de Divulgação e Comunicação proposto neste trabalho tem como objetivo estabelecer formas de

comunicação com os diversos públicos, contribuindo com a mobilização dos atores envolvidos, criando espaço para o projeto na mídia regional e nacional e abrindo espaço para novas parcerias no processo de implantação do Produtor-Conservador de Águas nas outras sub-bacias do PCJ.

As ações de comunicação deste Plano foram planejadas para diferentes públicos objetivando garantir o envolvimento de todos os setores sociais com linguagem e abordagem apropriadas.

Montante de investimento do Programa Conservador das Águas

A ANA investirá R\$ 750.000,00 os Comitês PCJ, R\$ 550.000,00; a TNC, R\$ 443.000,00; SMA/SP, R\$ 1.090.000,00; CATI/SP, R\$ 876.000,00; Prefeitura de Extrema (MG), R\$ 393.000,00; a o IEF/MG, R\$ 900.000,00, perfazendo um total de R\$ 5.002.000,00.

Referências bibliográficas

BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Programa Produtor de Água**: manual operativo. Brasília: ANA, SUM, 2008. 64 p.

SANTOS, T. C. C.; CÂMARA, J. B. D. (Org.). **GEO Brasil 2002**: perspectivas do meio ambiente no Brasil. Brasília, DF: IBAMA, 2002. 447 p.

Segundo Urquiaga Caballero

Bruno José Rodrigues Alves

Claudia Pozzi Jantalia

Luis Henrique de Barros Soares

Robert Michael Boddey

Introdução

Agricultura é a arte da produção de alimentos com mínima perturbação do meio ambiente. Esta é a regra essencial que rege as Ciências Agrônômicas, e pela qual juram, os agrônomos, por ocasião da obtenção do título profissional. Mas por muito tempo, aliás desde quase toda a história da humanidade, o homem antigo e o moderno têm considerado os recursos naturais – incluindo o solo, suporte essencial da produção de alimentos agrícolas – como infinitos, desperdiçando seus valores e terminando na sua degradação, e na série de problemas ambientais que se refletem através do aquecimento global.

Dentre os fatores agrícolas que mais influenciam a produção de alimentos estão o solo e a água. Existe uma grande diversidade de solos, mas em todos estes a característica da fertilidade natural tem estado muito relacionada com a sua capacidade potencial de produção. Hoje em dia, ainda pode-se dizer que o desenvolvimento dos povos está diretamente relacionado com o grau de riqueza de seus solos e a disponibilidade de água. Considera-se como certeza o fato que não existem povos desenvolvidos em solos pobres; mas aceitar inteiramente esta generalização é desprezar a tecnologia que nos permite não apenas otimizar os fatores mais favoráveis, senão também controlar o impacto negativo dos fatores limitantes. Um bom exemplo disto são os solos do Cerrado, que não obstante serem naturalmente muito pobres, com adequado manejo constituem, hoje em dia, a mais importante fronteira agrícola do mundo, tendo em conta que no mundo globalizado de hoje, grande parte dos bens agrícolas produzidos no

Cerrado é distribuído através do comércio internacional. Para o Brasil a importância do Cerrado na produção de grãos, no último ano, se expressa por contribuir com 34% da produção anual em apenas 30,5% da área cultivada (IBGE, 2008).

O presente capítulo objetiva apresentar uma análise crítica de alguns fatores relacionados com o sequestro de carbono e emissão de gases de efeito estufa pelo solo como resultado do impacto de práticas de manejo do recurso solo, dentro do contexto da preservação ambiental, sem deixar de considerar o componente educacional que, no nosso entender, muito tem a ver com a formação de recursos humanos para alcançar a tão desejada sustentabilidade agrícola.

Agricultura e as mudanças climáticas

A partir do estabelecimento de uma atividade agrícola, o que é considerado como um dos principais passos do homem para o desenvolvimento da humanidade, a produção de alimentos baseou-se na exploração de terras férteis. Entretanto, estas áreas tornaram-se cada vez mais escassas e esta ocupação baseou-se no desmatamento total. Com o desenvolvimento de processos tecnológicos, ocorrendo com maior intensidade nos últimos 50 anos, destacam-se tecnologias como o melhoramento genético e o uso de fertilizantes, que promoveram a conhecida “Revolução verde” (MATSON et al., 1997). Em todo este processo pouca atenção foi dada à proteção do meio ambiente.

Em virtude do desenvolvimento tecnológico na agricultura, no final dos anos 60 do século passado, quando se considerava que a fronteira agrícola do mundo tinha chegado praticamente ao seu fim, na América do Sul se descobre que os solos do Bioma Cerrados, localizados na parte central do Brasil, tinham amplas possibilidades de serem incorporados à agricultura. Abriu-se a possibilidade de uma nova fronteira agrícola, com o potencial de ser expandida para mais de 200 Mha, na sua maioria em Latossolos. Hoje em dia isso é uma realidade graças a resultados relevantes de inúmeros trabalhos de pesquisa em manejo de solos (calagem, fertilização e outros) e culturas (seleção de variedades e outros), sendo que mais recentemente foram sendo também incluídos os sistemas de preparo do solo conservacionistas (plântio direto) (ALVES et al., 2006). Tudo isso, na prática, significa uma

extensão da revolução verde, e uma demonstração de que a fertilidade natural dos solos não é mais essencial para o desenvolvimento agrícola e sim a tecnologia de manejo dos solos, criando-se fertilidade em solos cuja limitação era justamente a pobreza em nutrientes.

Ao que tudo indica, o grande erro que o homem cometeu foi considerar as terras agrícolas férteis como ilimitadas, como se os nutrientes contidos nos solos não fossem finitos. Hoje em dia, ainda nos países pobres e mesmo em países com bom desenvolvimento como o Brasil, onde grande parte dos alimentos que se consome diariamente é derivada da agricultura familiar, a produção de alimentos está baseada na exploração do baixo conteúdo dos nutrientes do solo, com nula ou mínima reposição através da fertilização. Isso contribui para degradação do recurso solo e do meio ambiente como um todo. Por isso, chama muita a atenção que algumas pessoas sem adequado conhecimento ou preparação técnica não conseguem entender que a maioria dos solos tropicais, pobres em nutrientes por natureza, somente conseguirá ser produtivo se levarmos em consideração a reposição de nutrientes através da adubação (de qualquer natureza).

De todos os nutrientes, o único que pode ser produzido no campo é o nitrogênio, através da fixação biológica de nitrogênio (FBN), principalmente nas leguminosas de grão (soja, feijão, amendoim, caupi e outros), leguminosas como adubos-verdes e através da FBN associada à cultura de cana-de-açúcar e pastagens, mas na maioria dos casos é necessário otimizar a FBN através do melhoramento genético das culturas e pelo uso da inoculação específica.

A baixa reposição dos nutrientes do solo leva à depleção de matéria orgânica e com isso a significativa e crescente perda de carbono para a atmosfera na forma de CO_2 , principal gás de efeito estufa. Somado a isso, outros gases emitidos pelo solo como N_2O e CH_4 derivados da agricultura, também têm efeito significativo no aquecimento global (ALVES et al., 2006; BALL et al., 1999; SISTI et al., 2004). De acordo como o Painel Internacional de Mudanças Climáticas (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2006) considera-se que a agricultura responde por mais de 20% do aquecimento global, fenômeno que por sua vez traz prejuízos e perdas de produção agrícola. Nesse sentido, esforços intensos vêm sendo realizados visando o desenvolvimento de técnicas que permitam não

somente uma agricultura sustentável, mas que contribua para mitigar o efeito estufa.

Deve-se destacar também que a perda da capacidade produtiva dos solos por diferentes mecanismos, chamados também de “fatores de degradação”, que em tese, significam o mesmo que perder solo por erosão ou diminuição da área agrícola, os quais devem ser evitados. O problema da degradação dos solos se iniciou na antiguidade, ou melhor, nasceu com a agricultura, com o desmatamento e o uso intensivo (ou abusivo) dos solos (OLSEN, 1981). Deve-se destacar também que hoje em dia o maior problema da degradação das terras do mundo está associado às perdas de solo por erosão (OLDEMAN et al., 1991).

A mecanização agrícola, se é certo que trouxe enorme benefício para a intensificação da agricultura, repercutindo favoravelmente na produção de alimentos, tem contribuído também para a rápida degradação do solo, quando empregada de forma inadequada. Como exemplo disto tem-se que nas zonas agrícolas temperadas a perda da MOS da camada arável foi rápida nos primeiros 25 anos de cultivo, com perdas de até 50% do carbono original (MATSON et al. 1997). Nos trópicos a situação é mais drástica, tais perdas poderiam ocorrer em 5 anos, caso as áreas de floresta nativa de Cerrado fossem substituídas pelo cultivo anual de soja sob sistema de preparo convencional do solo (SILVA et al, 1994).

Dentre as técnicas modernas disponíveis que contribuem para uma agricultura sustentável, destacam aquelas relacionadas ao manejo dos solos (calagem, fertilização e outros), o uso de sementes melhoradas, controle de pragas e doenças, irrigação, sistemas conservacionistas de manejo do solo (plantio direto ou cultivo mínimo), e rotação de culturas, onde se inclui o sistema de integração lavoura-pecuária, entre outros (URQUIAGA et al., 2005a; URQUIAGA et al., 2004; URQUIAGA; ZAPATA, 2000; STUDDERT et al., 1997).

Mitigação do efeito estufa: sequestro de carbono

A partir do crescimento dos organismos no planeta, especialmente das plantas na era Paleozóica, há aproximadamente 360 milhões de anos, entre os períodos Devoniano e Carbonífero, as partículas minerais da superfície terrestre receberam aportes

crescentes de resíduos vegetais que constituíram mais tarde o húmus ou matéria orgânica do solo. Este composto orgânico, tendo como base de sua constituição o carbono, contribuiu para diminuir os altos níveis de CO₂ da atmosfera daqueles tempos, fenômeno que hoje é conhecido como sequestro de carbono. Desta forma, pode-se dizer que as plantas contribuíram para diminuir o chamado efeito estufa reinante. Disto deduz-se, como mencionado acima, que a influência do homem para o atual fenômeno do efeito estufa começou com o desmatamento e queima da biomassa vegetal, na procura de terras férteis para a agricultura, fenômeno agravado mais tarde com a crescente queima de combustíveis fósseis. Ou seja, com a agricultura e o uso de energia fóssil começou-se a devolver à atmosfera enormes quantidades de carbono que estava sequestrado no solo e na biomassa vegetal.

Por isso, hoje em dia, existe a crescente preocupação em se obter sistemas de manejo dentro do conceito de sustentabilidade por um lado, e pela procura de sistemas que permitam mitigar o efeito estufa, obtendo-se de fontes alternativas de energia a partir da biomassa vegetal (URQUIAGA et al., 2004). Deve-se destacar também que outros gases emitidos pelo solo, como N₂O e CH₄, de efeito estufa muito superior que o CO₂ devem ser levados em conta no contexto global de mitigação do efeito estufa, assunto que será tratado mais adiante.

Um dos principais mecanismos de sequestrar carbono no solo é através do aumento do conteúdo de matéria orgânica no mesmo. Não se trata de depositar no solo apenas resíduos orgânicos, como bagaço de cana-de-açúcar, por exemplo, para aumentar o conteúdo de carbono orgânico do solo (COS). É necessário primeiro o adequado entendimento da natureza e composição da MOS para estabelecer os mecanismos ou estratégias para manejar adequadamente os resíduos das colheitas objetivando a construção da MOS ou para contribuir para o sequestro de COS. Neste assunto temos um grande espaço para percorrer na formação universitária, e a crítica que se apresenta é que os profissionais saem dos bancos acadêmicos com uma preparação unidirecional e especializada, quando a base deveria ser mais multidisciplinar. A especialização poderia ocorrer mais tarde. Somente devido a este problema observa-se que muitos resultados de pesquisas sobre sequestro de carbono, por exemplo, a inadequada interpretação

conduz a recomendações que no lugar de ajudar, confunde ou atrapalha o avanço do conhecimento e o desenvolvimento tecnológico.

Discutir MOS, significa referir-se indiretamente a seus principais constituintes, o C e o N orgânico. Considerando que a MOS apresenta, entre outras características, uma relação C/N estável, variando ao redor de 10 ou 12, independentemente das condições edafoclimáticas, do conteúdo de N e da natureza da vegetação, pode-se deduzir que somente será possível aumentar o conteúdo de MOS, ou o sequestro de COS, quando o sistema apresentar um balanço positivo de N, ou seja, as quantidades líquidas de N que ingressam no sistema sejam superiores à saída do nutriente com os produtos de colheita e perdas naturais de N do solo. Desta forma, pode-se dizer que, entre os principais nutrientes, o N é o elemento essencial para o sequestro de C nos solos agrícolas (JANTALIA et al., 2006, URQUIAGA et al., 2005b).

Porém, em vários trabalhos que tratam do sequestro de C no solo (LAL, 1997; SÁ et al., 2001) pouca ou nenhuma atenção foi dada a este fenômeno. Somente nos últimos anos alguns pesquisadores têm começado a dar importância ao N como elemento chave no sequestro de C no solo (SISTI et al., 2004; DIEKOW et al., 2005; CHRISTOPHER; LAL, 2007). Justamente por desconhecimento deste fenômeno é que muitos sistemas de manejo do solo, inclusive o plantio direto, onde grandes quantidades de resíduos carbonados ingressam no solo, não tem produzido os resultados de sequestro de COS esperados (JANTALIA et al., 2007; SISTI et al., 2004; URQUIAGA et al., 2005b). Baseado no balanço de N nos sistemas agrícolas, especialmente o conteúdo de N do solo, é possível prever o potencial de sequestro de C ou da MOS.

Diversos estudos vêm demonstrando que um dos principais mecanismos para incrementar o balanço positivo de N nos sistemas agrícolas, incluindo pastagens, é através da contribuição da FBN, empregando-se leguminosas como adubos verdes em rotação de culturas e sob plantio direto. Os estudos de BAYER et al. (2000), PILLON (2000) e SISTI et al. (2001) têm demonstrado que somente foi possível aumentar a quantidade de resíduos de colheita, e com isto o C e N orgânico do solo, quando na rotação de culturas incluíram-se leguminosas como adubos-verdes, que aumentaram significativamente a quantidade de N disponível. No solo, observa-se que o aumento de MOS está sempre acompanhado pelo aumento conjunto de C e N. Este

fenômeno também foi observado em solos sob pastagens consorciadas de gramíneas com leguminosas, tanto na região temperada como tropical (DIAS-ZORITA et al., 2002; STUDDERT et al., 1997; TARRE et al., 2001). Neste último caso, tudo indica que nas regiões subtropicais a FBN derivada do trevo garante, não apenas a demanda de N dos animais para a produção de carne e leite, senão também para aumentar o conteúdo de COS. Uma análise mais completa sobre a importância da FBN no sequestro de C e na preservação ambiental apresenta-se em ALVES et al. (2006) e URQUIAGA et al. (2004, 2005b).

Embora seja conhecido que outros gases de efeito estufa, inclusive mais potentes que o CO_2 como são o N_2O e o CH_4 , também precisam ser avaliados antes de estabelecer qualquer programa de manejo de solos orientados a diminuir ou mitigar o impacto da agricultura no aquecimento global.

O N_2O é um gás cujo potencial de efeito estufa é, em base molar, aproximadamente 300 vezes maior que o CO_2 , e sua concentração natural na atmosfera era de 320 ppb e atualmente está ao redor de 370 ppb. No entanto, as principais emissões deste gás decorrem do manejo agrícola, da fertilização com nitrogênio e do preparo do solo. Em diversos trabalhos onde se avaliou a emissão de N_2O pelo solo na região temperada, encontrou-se que o sistema plantio direto promoveu taxas mais altas de emissão (LINN; DORAN, 1984; BALL et al., 1999; VINTEN et al., 2002), estando associadas à maior preservação da umidade do solo e disponibilidade de substratos orgânicos decomponíveis, condições básicas para a intensa atividade microbiana, que favorece a nitrificação (produção de nitratos) e a própria denitrificação (emissão de N_2O). Resulta que na região temperada os solos apresentam altos conteúdos de argilas expansivas (montmorilonita e vermiculita) com alta retenção de água, criando condições de redução química, ideal para a produção de N_2O .

Muito diferente disto, nos solos tropicais altamente intemperizados, com a fração argila rica em sesquióxidos e caulinita, de muito baixa retenção de umidade e/ou de boa drenagem, não ocorrem as condições de baixo potencial redox para a produção de N_2O (SMITH et al. 2003). Esta situação é comum nos solos brasileiros, especialmente no Cerrado. Os estudos de JANTALIA et al (2008), trabalhando num Latossolo da região de Passo Fundo (RS), avaliando diferentes rotações

de culturas e sistemas de preparo do solo (plantio direto e convencional), demonstraram que independentemente do sistema de preparo do solo e das rotações de culturas, as taxas de emissão de N_2O foram baixas (0,60 a 0,94 kg N- N_2O ha⁻¹ ano⁻¹), equivalentes a 24 - 80% das estimativas calculadas pela condição do Painel Internacional de Mudanças Climáticas (IPCC), que considera que 1% do total do N, que ingressa no solo (adubos e resíduos), é perdido na forma de N_2O . Deve-se destacar que as taxas mais próximas das do IPCC ocorreram quando o ingresso de N ao solo foi mais alto. De qualquer maneira, pode-se afirmar que no Latossolo estudado, onde os tratamentos de manejo estiveram estabelecidos por mais de 18 anos, as estimativas de emissão de N_2O pelo IPCC foram superestimadas entre 20 e 76%. Por isso, estudos de diagnóstico do impacto da agricultura brasileira para o efeito estufa precisam ser intensificados.

No caso do metano (CH_4), embora seja um gás cujo potencial de efeito estufa seja de 20 a 30 vezes maior que o CO_2 em base molar, sua ocorrência ou impacto está mais restrita às áreas baixas e alagadas (cultura de arroz irrigado) e à influência de animais ruminantes. Deve-se destacar que em pastagens de qualidade, onde os animais alcançam o peso de abate em menor tempo, as taxas de emissão de CH_4 por kg de carne também é baixo, e por isso da necessidade do manejo adequado das pastagens para diminuir o impacto da pecuária no aquecimento global.

Finalmente, deve-se destacar também que uma quantidade pequena de trabalhos tem levado em consideração as emissões de N_2O e CH_4 nos estudos de balanço global da emissão de gases de efeito estufa pela agricultura, o qual parece estar associada a aparente baixa quantidade emitida, mas que em determinadas situações a emissão destes gases pode neutralizar qualquer trabalho de mitigação do efeito estufa baseado apenas nas emissões de CO_2 (JANTALIA et al., 2008).

Agradecimentos

Os autores expressam seus agradecimentos ao CNPq pela Bolsa de produtividade em pesquisa concedida. Também se agradece a FAPERJ e a Agencia Internacional de Energia Atômica pela ajuda recebida para o desenvolvimento de várias das pesquisas mencionadas neste trabalho.

Referências Bibliográficas

ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; AITA, C.; BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Manejo de sistemas agrícolas: impacto do sequestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa**. Porto Alegre: Genesis, 2006. 216 p.

BALL, B. C.; SCOTT, A.; PARKER, J. P. Field N₂O, CO₂ and CH₄ fluxes in relation to tillage compaction and soil quality in Scotland. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v.53, p. 29-39, 1999.

BAYER, C.; MIELNICZUCK, J.; AMADO, T.J.C.; MARTIN-NETO, L. y FERNANDES, S.B.V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 54, p.101-109, 2000.

CHRISTOPHER, S. F.; LAHL, R. Nitrogen management affects carbon sequestration in North American cropland soils. **CRC Critical Review of Plant Science**, Boca Raton, v. 26, p. 45-64, 2007.

DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D. P.; KOGEL-KNABNER, I. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilisation in a southern Brazil Acrisol managed under no-tilled for 17 years. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 81, p.87-95, 2005.

DÍAZ-ZORITA, M.; DUARTE G. A.; GROVE, J. H. A review of no-till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 65, p. 1-18, 2002.

LINN, D. W.; DORAN, J. W. Effect of water-filled porous space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and non-tilled soil. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 48, p. 1267-1272, 1984.

IBGE. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em 18 abr. 2008.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.htm>>. Acesso em: jul. 2006.

JANTALIA, C. P.; ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. Mudanças no estoque de C do solo em áreas de produção de grãos: avaliação do impacto do manejo do solo. In: ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; AITA, C.; BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; CAMARGO, F. A. (Eds.). **Manejo de sistemas agrícolas: impacto no sequestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa**. Porto Alegre: Gênese, 2006. p. 35-57.

JANTALIA, C. P.; RESCK, D. V. S. ; ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Effect of tillage intensity on carbon stocks under a soybean based crop rotation in the Brazilian Cerrado. **Soil Tillage Research, Amsterdam**, v. 95, p. 97-109, 2007.

JANTALIA, C. P.; SANTOS, H. P.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R. Fluxes of nitrous oxide from soil under different crop rotations and tillage systems in the south of Brasil. **Nutrition Cycle Agroecosystem**, 2008. *in press*.

MATSON, P. A.; PARTON, W. J.; POWER, A. G.; SWIFT, M. J. Agricultural intensification and ecosystem properties. **Science**, v. 277, p. 504-509, 1997.

LAL, R. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂-enrichment. **Soil Tillage Research, Amsterdam**, v. 43, p. 81-107, 1997.

OLDEMAN, L. R.; HAKKELING, R. T. A.; SOMBROEK, W. G. **World map of human-induced soil degradation: an explanatory note**. 2. ed. United Nations Environment Programme, Nairobi. 1991.

OLSEN, G.W. Archaeology: lessons on future soil use. **Journal of Soil Water Conservation**, v. 36, p. 261-264, 1981.

PILLON, N. C. **Alterações no conteúdo e qualidade da matéria orgânica do solo induzidas por sistemas de cultura em plantio direto**. Tese. (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio Grande do Sul. Porto Alegre (RS), 2000.

SÁ, J. C. D. M.; CERRI, C. C.; DICK, W.A.; LAL, R.; FILHO, S. P. V.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. E. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 65, p. 1486-1499, 2001.

SILVA, J. E. D.; LEMAINSKI, J.; RESCK, D. V. S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de Cerrado do Oeste Baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 18, p. 541-547, 1994.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOCHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional and zero tillage in southern Brazil. **Soil Tillage Research, Amsterdam**, v. 76, p. 39-58, 2004.

SMITH, K. A.; BALL, T.; CONEN, F.; DOBBIE, K. E.; MASSHERDER, J.; REY, A. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors biological processes. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 54, p. 779-791, 2003.

STUDDERT, G. A.; ECHEVERRÍA, H. E.; CASANOVAS, E. M., Crop pasture rotation for sustaining the quality and productivity of a Typic Argiudoll. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 61, p. 1466-1472, 1997.

TARRÉ, R. M.; MACEDO, R.; CANTARUTTI, R. B.; RESENDE, C. P.; PEREIRA, J. M.; FERREIRA, E.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. The effect of the presence of a forage legume on nitrogen and carbon levels in soils under *Brachiaria* pastures in the Atlantic forest region of the south of Bahia, Brazil. **Plant and Soil**, Hague, v. 234, p. 15-26, 2001.

URQUIAGA, S., ZAPATA, F. **Manejo eficiente de la fertilización**

nitrogenada de los cultivos anuales en América Latina y el Caribe.

Porto Alegre: Gênese, 2000. 110p.

URQUIAGA, S.; JANTALIA, C.; LUZIO, W.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. El Horizonte del suelo. **Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrition Vegetal**, Casilla, v. 5, p. 46-60, 2005a.

URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P.; ZOTARELLI, L.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Manejo de sistemas agrícolas para sequestro de C no solo. In: AQUINO, A.; ASSIS, R. L. **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005b. p. 323- 342.

URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P. J.; SANTOS, H.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M., Importancia da FBN no sequestro de carbono no solo y en la sustentabilidad agrícola. In: AZCONEGUI, M. A. M. De; GARCÍA DE SALAMONE, I. E.; MIYAZAKI, S. S. **Biología del suelo: transformaciones de la materia orgánica, usos y biodiversidad de los organismos edáficos**. Buenos Aires: Editorial Facultad Agronomía, 2004. p. 1-11.

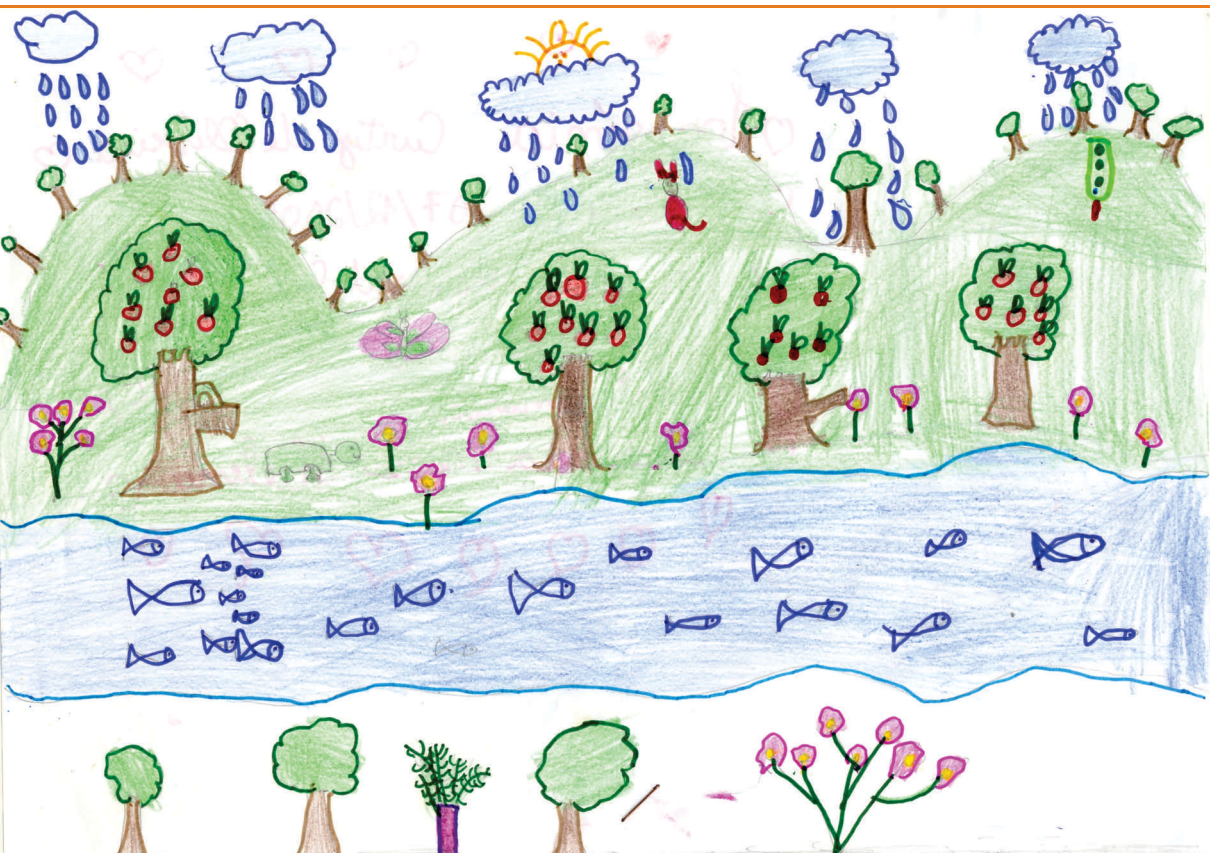
VINTEN, A. J. A.; BALL, B. C.; O'SULLIVAN, M. F.; HENSHALL, J. K. The effects of cultivation method, fertiliser input and previous sward type on organic C and N storage and gaseous losses under spring and winter barley following long term leys. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 139, p. 231-243, 2002.

Difusão do conhecimento
e envolvimento da sociedade
em manejo e conservação
do solo e da água

Parte V



Escola Municipal Maria Ramos de Azevedo
Banco Mundial - Projeto PRODETAB Aquíferos
São José de Ubá - RJ



Desenho da aluna **Lavínia Curty de Oliveira**.
Professora: **Maria Helena Ferreira Silva** - 1a. Série B - 2004.
Neste desenho é representada a natureza em equilíbrio.
A água da chuva se infiltra e vai alimentar rios e aquíferos.
A vegetação retém a água no solo e protege os animais.

Divulgação do conhecimento científico e a sensibilização da sociedade em relação ao manejo e conservação do solo e da água

01

Kátia Leite Mansur

Está se formando um consenso a respeito das diversas formas de comunicação entre especialistas e o público em geral: a mais produtiva é aquela em que o cientista e o cidadão trocam experiências e saberes. Esta assertiva encontra-se refletida nos cinco capítulos que compõem a parte 5 do presente livro: “Divulgação do conhecimento científico e a sensibilização da sociedade em relação ao manejo e conservação do solo e da água”. Também, a busca pela sustentabilidade, ambiental e/ou econômica, é o pano de fundo de todas as ações descritas nos capítulos subsequentes. Estas experiências apresentadas estão concentradas, na sua maioria, no Estado do Rio de Janeiro, onde atuam profissionalmente os autores dos capítulos, o que não significa que estas iniciativas não ocorram em outras regiões do país.

Iniciando pela exceção, o capítulo 2 trata de comunicação com o Povo Krahô, na Terra Indígena Kraholândia, no Estado do Tocantins. Nele é apresentado um método de pesquisa para levantamento etnopedológico. A comunicação, neste caso, envolve o reconhecimento dos saberes tradicionais indígenas e de sua forma de encarar a natureza. Segundo os autores, o seu objeto de estudo é “o conhecimento localmente produzido, socializado e territorializado pelo Povo Krahô”. Tem como pressuposto que a integração entre o conhecimento pedológico indígena e aquele produzido nos centros de pesquisa da Embrapa pode subsidiar a gestão sustentável da Terra Indígena.

No capítulo 3 é relatada a experiência de comunicação com comunidades escolares de áreas produtoras de tomate em São José de Ubá, no Estado do Rio de Janeiro. As ações desenvolvidas no âmbito do

projeto PRODETAB Aquíferos tinham como objetivo principal, o estabelecimento de parâmetros para uso e ocupação das terras, como forma a aumentar a infiltração de água no subsolo. Pela vertente educacional, entre outros produtos, foram elaborados 12 painéis contendo desenhos feitos pelas crianças e textos sobre conservação do solo e da água e que foram afixados na área de convivência de cada unidade escolar participante da iniciativa.

No capítulo 4 é apresentada a experiência da Embrapa Agrobiologia na região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, em particular quanto à aplicação de pesquisa participativa pelo Núcleo de Pesquisa e Treinamento para Agricultores – NPTA, criado com o apoio da Prefeitura Municipal de Nova Friburgo. A partir de um diagnóstico que identificou que “os métodos tradicionais de transferência de tecnologia não são efetivos e eficientes para os agricultores familiares”, os pesquisadores buscaram, através de ações participativas, encontrar soluções locais potencializadoras de processos ecológicos para gestão das unidades de produção, com custo reduzido e revertendo, portanto, riscos ambientais e econômicos.

Nos capítulos 5 e 6 são apresentadas experiências de nível municipal, onde se destaca o sucesso de ações, a partir da institucionalização de um canal de comunicação com o produtor rural. Assim, no quinto capítulo é discutido o associativismo como ferramenta para solução de problemas enfrentados no campo. É relatada a experiência da Secretaria Municipal de Agricultura de Nova Friburgo, no apoio à formação e organização de associações representativas de produtores rurais. A partir de reuniões e levantamento de demandas locais foi construída uma agenda de interesses coletivos e, finalmente, foi colocado em prática o Conselho Rural participativo, que encontrava-se desativado. Esse fórum de discussão é privilegiado e permite a institucionalização da participação das entidades na formulação das políticas públicas municipais voltadas ao setor agrícola.

Finalmente, no sexto capítulo, é apresentada a experiência da Secretaria de Agricultura, Abastecimento e Produção do município de Petrópolis, no período de 2006 a 2008. As ações, projetos e atividades foram desenvolvidas junto ao produtor, nas escolas, no governo municipal e nas empresas, elencando medidas baseadas na ética, na política, na economia e na tecnologia. Segundo estes autores,

“A racionalidade política tem como fim preservar o poder, ampliar o prestígio e conseguir os votos da população nas eleições. A racionalidade ética busca criar, nutrir e defender os valores da verdade, da preservação, da solidariedade e da distribuição mais racional da riqueza. A racionalidade econômica busca a redução dos custos financeiros dos projetos, [...] a expansão da renda e a penetração dos produtos nos mercados. A racionalidade tecnológica busca conseguir que os processos produtivos sigam uma lógica científica e níveis de segurança.”

Algumas experiências brasileiras de sucesso na relação entre pesquisadores em Ciência do Solo e a sociedade podem ser destacadas. Uma delas refere-se ao trabalho desenvolvido no Museu de Ciências da Terra Alexis Dorofeef da Universidade Federal de Viçosa, denominado “Programa de Educação em Solos e Meio Ambiente” (MUGGLER; MORAIS; SANTOS, 2009). Neste programa estão inseridas ações como fabricação caseira de tintas para parede pigmentadas com solos, recepção de escolas no espaço do museu, cursos e palestras, exposições fixas e itinerantes, entre outras. Uma destas exposições itinerantes, intitulada Solos: Evolução e Diversidade (MUGGLER; PINTO SOBRINHO; MACHADO, 2006), percorreu cidades da Zona da Mata de Minas Gerais para

“popularizar o conhecimento de solos e ampliar a sua percepção pública. Para isso, além da exposição com seus painéis e objetos o projeto visa também a capacitação e formação de monitores que podem ser estudantes, professores, agricultores e demais interessados, em conteúdos de solos” (MUGGLER; PINTO SOBRINHO; MACHADO, 2006).

As inovações na comunicação passaram pela utilização de diferentes linguagens, expressas, por exemplo, no cartaz de divulgação da exposição, que misturou poesia (“O Cântico da Terra” de Cora Coralina) e ciência (na forma de desenhos) para convidar a população a conhecer a exposição.

Outra iniciativa relevante é o Projeto de Extensão Universitária Solo na Escola, coordenado pelo Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Paraná (UFPR) (<http://www.escola.agrarias.ufpr.br/index1.html>). Este projeto tem o

objetivo de promover a conscientização sobre o papel do solo como componente do ambiente natural e da necessidade de ser conhecido e preservado. Suas atividades principais são: (a) desenvolver e divulgar material didático sobre solos para o ensino médio e fundamental, inclusive experimentos que podem ser baixados na Internet; (b) aprimorar mecanismos para ampliar a visitação de escolares à UFPR para conhecer sobre solos; e (c) capacitar professores do ensino fundamental e médio para ensinar o tema solos.

A Embrapa e entidades estaduais de pesquisa e extensão rural também desenvolvem projetos de popularização da ciência e de sensibilização da sociedade em geral e de produtores rurais com a finalidade de manejo adequado do solo e da água.

A comunicação e o intercâmbio de conhecimento, em todos estes casos, só se estabelecem porque os especialistas buscam métodos de trabalho que priorizam a participação do não-especialista.

Em se tratando de métodos participativos, Carolan (2008) apresentou o resultado de sua pesquisa sobre métodos de divulgação da ciência em atividades do tipo “Dia de Campo”. Inicialmente o autor pesquisou a reação dos produtores durante o que ele denominou “Dia de Campo Convencional”. Nestes casos, o especialista, rodeado pelos produtores, discutia os problemas e orientava para soluções possíveis. No segundo caso, no “Dia de Campo Sustentável”, conforme realizado pela *Practical Farmers of Iowa* (CAROLAN, 2008), os encontros, além da discussão dos temas de interesse, têm música, comidas e jogos, envolvendo, inclusive, crianças. São organizados pelos produtores e, ao contrário do “Dia de Campo Convencional”, os *experts* não são chamados de “doutores” ou “especialistas” e, sim, de nomes mais “amigáveis”, como, por exemplo, “aquele que recebe para o evento”. Ambas são consideradas formas democráticas e participativas. Com estes exemplos, o autor quis somente realçar a complexidade envolvida em atividades de divulgação e troca de informações. Vale ressaltar que sustentabilidade e comunicação também aparecem como temas unidos.

Esta complexidade vai além das organizações, pesquisadores e produtores. Durant (2008), analisando a teoria social relacionada à divulgação científica (*public understanding of science*), conclui que quanto mais se busca eliminar a lacuna de entendimento existente

entre especialista e leigo, um novo tipo de lacuna parece surgir. Uma dificuldade apontada é a de preservar a autonomia dos atores leigos em face do controle hegemônico do conhecimento, por parte dos *experts*.

Certamente, a garantia da autonomia dos setores sociais é um dos mais importantes fatores para a eficiência e eficácia de políticas que buscam a participação pública. Parece, portanto, que a divulgação do conhecimento, a participação da sociedade, a sustentabilidade ambiental e econômica e os avanços da ciência e das tecnologias são temas que se entrelaçam quando se busca o sucesso das práticas de manejo do solo e da água junto ao produtor rural de base familiar.

Referências bibliográficas

CAROLAN, M.S. Democratizing knowledge sustainable and conventional agricultural field days as divergent democratic forms. **Science, Technology, & Human Values**, v. 33, n. 4, p. 508-28, Jul. 2008.

DURANT, D. **Accounting for expertise: wyne and the autonomy of the lay public actor.** *Public Understanding of Science*, v. 17, n. 5, 2008. DOI: 10.1177/0963662506076138

MUGGLER, C. C.; PINTO SOBRINHO, F. A.; MACHADO, V. A. Educação em Solos: princípios, teoria e métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 733-740, 2006.

MUGGLER, C. C.; MORAIS, E. H. M.; SANTOS, J. A. A. Solos: evolução e diversidade – popularização do conhecimento e ampliação da percepção pública de solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009. Fortaleza. **O solo e a produção de bioenergia: perspectivas e desafios.** 2 a 7 de agosto de 2009. [Viçosa, MG]: SBCS; Fortaleza: UFC, 2009. 583 p.

Abordagem etnopedológica no auxílio de ações socioambientais: proposta de diagnóstico e gestão participativa dos recursos naturalizados na terra indígena Kraholândia

02

Júlio César de Lucena Araújo
Lúcia Helena Cunha dos Anjos
Marcos Gervasio Pereira

Introdução

De acordo com Freire (2006): “*Pedologia (pedon = solo + logos = estudo) é o ramo da ciência que estuda o solo como um corpo natural*”.

Ainda segundo o autor,

“Existem muitos conceitos de solo. Cada um deles revelando a perspectiva pela qual o interessado o considera”; “a Pedologia, por essas razões, se tornou um ponto de convergência de muitos ramos do conhecimento humano, tais como: Geologia, Climatologia, Química, Física, Biologia, Geografia, Agricultura e Antropologia, sendo que a sua natureza interdisciplinar é de grande importância para a solução de problemas de ecologia humana” (FREIRE, 2006).

Sobre a originalidade do termo Etnopedologia e de seus significados, de acordo com Ortiz-Solorio e Gutiérrez-Castorena (2001), a pesquisadora Barbara J. Williams da Universidade de Wisconsin (USA) é “considerada como a pioneira no assunto”, no estudo sobre:

“A percepção popular das propriedades dos solos e seus processos; as classificações e taxonomias locais de solos; as teorias, explicações e dinâmicas das propriedades dos solos; o manejo local dos solos; as percepções populares das relações entre os domínios de solos e plantas; a comparação entre a ciência do solo técnica e popular; a valorização da percepção popular do solo nas práticas agrícolas e outros reinos do comportamento” (WILLIAMS; ORTIZ-SOLÓRIO, 1981).

Na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, no Departamento de Solo e no Curso de Pós-graduação em Agronomia - Ciência do Solo (CPGA-CS), alguns professores têm larga experiência em estudar o solo como um corpo natural. A partir do final dos anos 90, foram iniciadas pesquisas sobre o solo a partir da percepção popular, notadamente de comunidades legalmente definidas como tradicionais, como as indígenas (ARAÚJO et al., 2001; 2006; 2009), caiçaras (SILVA, 1998; SILVA et al., 2006) e geraizeiros (CORREIA et al., 2007; TOLEDO et al., 2009). Independentemente de considerações conceituais, se mais pedológico ou etnopedológico, o registro das informações sobre o solo, a partir desses grupos sociais, permitiu analisar aspectos importantes da robustez e fragilidade das informações sobre o solo ou terra, aplicadas ao uso e ocupação deste recurso natural em seus ambientes e territórios. Nesses estudos, o termo "etnopedologia" foi adotado nas pesquisas com os grupos de indígenas e geraizeiros, principalmente, por enfatizar o uso de métodos e técnicas em ciências sociais e abordar a percepção do solo destes grupos sociais. Contudo, tanto em pedologia quanto em etnopedologia, os métodos e técnicas aplicados em ciência do solo são inerentes a estes estudos, notadamente por corroborar a legitimidade das informações e ponderar sobre sua aplicabilidade.

O viés da pesquisa etnopedológica desenvolvida na UFRRJ permitiu o registro de informações sobre o conhecimento pedológico, e suas interações com outras categorias de informações de relevância socioambiental. As quais são reconhecidas por personalidades e coletividades locais do território socioambiental, bem como demais integrantes da pesquisa etnopedológica. Elas resguardam, na estrutura de seu registro, aspectos da identidade cultural analisada. O registro etnopedológico é um esforço intelectual para elucidar categorias locais de solo e outras relacionadas a ele. Portanto, pretende compreender o processo de produção do conhecimento pedológico local e as percepções e práticas derivadas dele. Ainda, procura-se perceber suas complexidades, muitas vezes ocultas a sensibilidades e ao tempo ou espaço de uma pesquisa apenas etnográfica ou meramente pedográfica.

As abordagens metodológicas em pesquisa e desenvolvimento, que se esforçam para compreender o arcabouço cultural ou seus conhecimentos, contribuem para a conservação dos recursos naturais e para segurança alimentar de povos indígenas. Esta afirmativa tem

reunido, no desenvolvimento da pesquisa aqui apresentada, além da UFRRJ – Departamento de Solos, instituições como: a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Centro Nacional de Recursos Genéticos (Cenargen) e Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC); a Fundação Nacional do Índio (Funai); e a Associação União das Aldeias Krahô (Kapej).

Neste capítulo, é apresentada proposta de estrutura de pesquisa etnopedológica tendo como objeto o conhecimento pedológico localmente produzido, socializado e “territorializado” pelo Povo Krahô na Terra Indígena Krahôlândia, em Tocantins.

Fundamentos da pesquisa

As comunidades tradicionais

O DECRETO Nº 6.040 (BRASIL, 2007) que instituiu a Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável dos Povos e Comunidades Tradicionais, define os mesmos como:

“grupos culturalmente diferenciados e que se reconhecem como tais, que possuem formas próprias de organização social, que ocupam e usam territórios e recursos naturais como condição para sua reprodução cultural, social, religiosa, ancestral e econômica, utilizando conhecimentos, inovações e práticas gerados e transmitidos pela tradição”.

Os Povos e Comunidades Tradicionais sustentam suas necessidades locais por meio da organização social, econômica e ambiental, sintetiza Balée (1988). Ou ainda, segundo Diegues (2001), tem as seguintes características:

"a) dependência e até simbiose com a natureza, os ciclos naturais e os recursos naturais renováveis a partir dos quais se constrói um modo de vida; b) conhecimento aprofundado da natureza e de seus ciclos que se reflete na elaboração de estratégias de uso e de manejo dos recursos naturais. Esse conhecimento é transferido de geração em geração por via oral; c) noção de território ou espaço onde o grupo social se reproduz econômica e socialmente; d) moradia e ocupação desse território por várias gerações, ainda que alguns membros

individuais possam ter-se deslocado para os centros urbanos e voltado para a terra de seus antepassados; e) importância das atividades de subsistência, ainda que a produção de mercadorias possa estar mais ou menos desenvolvida, o que implica uma relação com o mercado; f) reduzida acumulação de capital; g) importância dada à unidade familiar, doméstica ou comunal e às relações de parentesco o compadrio para o exercício das atividades econômicas, sociais e culturais; h) importância das simbologias, mitos e rituais associados à caça, à pesca e atividades extrativistas; i) a tecnologia utilizada é relativamente simples, de impacto limitado sobre o meio ambiente. Há reduzida divisão técnica e social do trabalho, sobressaindo o artesanal, cujo produtor (e sua família) domina o processo de trabalho até o produto final; j) fraco poder político, que em geral reside com os grupos de poder dos centros urbanos; k) auto-identificação ou identificação pelos outros de se pertencer a uma cultura distinta das outras."

Para Albuquerque (2000), a relevância do conhecimento das comunidades tradicionais está no fato de serem, ao mesmo tempo, sujeito e objeto na geração de conhecimento: a partir de suas visões de mundo, de seus mitos e crenças, experimentam, analisam, refletem e explicam a dinâmica de seus ambientes, integrando os fenômenos para encontrar soluções para seus problemas. Agricultores indígenas, de acordo com Posey (1987), imprimem suas características sociais e culturais aos agroecossistemas que mantêm e manejam, construindo os conhecimentos tradicionais associados por meio de categorias cognitivas próprias, fundamental para estudos e pesquisas. Tem sido o caso, segundo o autor, das categorias e conceitos cognitivos relacionados à diversidade genética, nas pesquisas de conservação *in situ* sob cultivo. Outro exemplo são as informações provenientes dos estudos sobre o uso e manejo dos ambientes tropicais pela agricultura itinerante, de comunidades tradicionais, que têm permitido compreender a necessidade dos sucessivos ciclos de pousio (repouso agrícola) para o restabelecimento do potencial produtivo das terras, indispensável à sustentabilidade local (OLIVEIRA; COELHO NETO, 1996; SILVA, 1996).

Desde a década de 50, as comunidades tradicionais têm os seus

conhecimentos ecológicos legitimados por ramos científicos como Etnoecologia, Etnobotânica, Etnobiologia, Etnopedologia, Antropologia Ecológica e Ecologia Cultural (ARAÚJO, 2007). Segundo Pawluk et al. (1992), isso tem permitido compreender melhor os contextos socioculturais e contribuir para desvendar estratégias para o desenvolvimento local.

“Assim passaram milênios até que surgiram os agentes de nossa civilização munidos, também ali, da capacidade de agredir e ferir mortalmente o equilíbrio milagrosamente logrado por aquelas formas complexas de vida”: de Darcy Ribeiro, em 1987, sobre o legado indígena, ao apresentar o livro da arqueóloga Betty Meggers (LEONEL, 2000).

Etnopedologia

Identifica-se Vasili Dokuchaev como o fundador da pedologia, enquanto Barbara J. Williams foi a pioneira da etnopedologia. Não é por acaso estas afirmações, tamanha a contribuição destes pesquisadores para o conhecimento sobre o solo. A pedologia de Dokuchaev e a etnopedologia de Williams se distinguem basicamente pelo objeto da pesquisa, principalmente, no aspecto moderno destes ramos da ciência do solo. Enquanto a pedologia naturaliza o solo através dos conceitos pedogenéticos, a etnopedologia busca de antemão saber como grupos humanos naturalizam o solo. Mas unificá-los não é necessariamente uma gafe científica, mas possivelmente uma afirmação de como poderia ter evoluído ou pode evoluir a ciência, para integrar o solo e a sociedade.

Em Alves e Marques (2005) é salientada a opinião de Krasilnikov, que não atribui o pioneirismo da etnopedologia unicamente aos trabalhos de Williams. Para sustentar sua afirmação, Krasilnikov refere-se justamente aos mapeamentos de solos na Rússia no século XIX, e transcreve então a seguinte avaliação feita por Dokuchaev: “o mapeamento era realizado ora com base em depoimentos das populações locais, ora com base em observações de campo que normalmente consideravam apenas a cor do solo” (ALVES; MARQUES, 2005). O interessante é que ainda hoje, na prática, para adiantar a prospecção, pedólogos tem se valido do depoimento de residentes locais para os levantamentos e mapeamentos de solos.

Contudo, não tem sido comum em pedologia o registro desses depoimentos ou das relações entre as informações locais e as pedogenéticas. De modo que, de acordo com Alves e Marques (2005), a “tendência de omitir denominações locais de solos parece indicar uma perda de informação cultural no desenvolvimento da pedologia formal.” Com isso, seja na possibilidade de contribuir à pedologia, com a informação cultural das denominações locais de solos, seja à antropologia, com a informação pedogenética, a etnopedologia tem se desenvolvido.

Segundo Winkler Prins e Sandor (2003), o contexto da etnopedologia é o de “métodos epistemológicos híbridos que se usam para visualizar e avaliar o manejo do conhecimento pedológico local” (tradução do autor). Para Toledo (2000), a etnopedologia é integrante do universo que abrange a etnoecologia, sendo um “enfoque interdisciplinar que estuda as formas pelas quais os grupos humanos vêem a natureza, através de um conjunto de conhecimentos e crenças; e como os humanos, a partir de seu imaginário, usam e manejam os recursos naturais” (ALVES; MARQUES, 2005).

O Brasil, além de possuir enorme biodiversidade, entre 15% e 20% do total das espécies do planeta, e 55 mil espécies de flora, 22% de todo o mundo, abriga mais de 215 etnias e 180 línguas indígenas, tornando assim um campo de estudo privilegiado para a etnopedologia (DIEGUES; ARRUDA, 2001). No entanto, de acordo com a revisão bibliográfica de Barrera-Bassols e Zinck (2003) sobre abundância, diversidade e distribuição de estudos em etnopedologia, o Brasil ainda estaria atrás dos países Papua - Nova Guiné, Filipinas, Burkina Fasso, Índia, Peru, Nigéria, Nepal e México.

Nas 895 referências compiladas por Barrera-Bassols e Zinck (2003), os autores distinguem três grupos de abordagens metodológicas: etnográfica, comparativa e integrada. Na abordagem etnográfica, o trabalho de campo limita-se a perspectiva cultural, à análise linguística de sistemas de classificação local de solo e terras, não se estabelecendo correlações com os conhecimentos da Ciência do Solo.

A abordagem comparativa estabelece similaridades e diferenças, contudo sem considerar os contextos socioculturais a partir do qual são formadas as percepções, as crenças, a cognição e as práticas sobre a classificação e manejo do solo. E mais recente, a abordagem que

integra ambas as abordagens, que prima à relevância da cultura local no contexto da gestão sustentável do território.

Terra Indígena Kraholândia

Caracterização da terra indígena dos Krahô

A Terra Indígena Kraholândia está localizada a aproximadamente 276 km da cidade de Palmas, capital do Estado do Tocantins, pertence à microrregião do Jalapão e delimita uma das maiores áreas de Cerrado ainda conservado. De acordo com o Decreto nº 99.062, a Terra Indígena Kraholândia está localizada no Estado do Tocantins (BR), entre as latitudes 07º 55'17,6"S e 08º 45'33,6"S e longitudes 47º 10'01,6"WGR, e 47º 45'54,5"WGR, nos municípios de Itacajá e Goiatins, com superfície de 302.533,3971 hectares e perímetro de 374,503 quilômetros (BRASIL, 1990).

A Terra Indígena está ocupada por 21 aldeias, segundo dados locais. Entretanto, Mistry et al. (2004) registraram 16 aldeias, de vários tamanhos, com uma população de aproximadamente 2.000 pessoas.

O clima na região é nitidamente sazonal, caracterizado por uma estação chuvosa, de outubro a abril, e uma estação seca, de maio a setembro. Nessa alternância climática se definem as atividades de caça, coleta, agricultura e pesca. A pesca, restrita ao período seco, ocorre na Terra Indígena Krahô em cursos d'água de pequeno porte, que possuem peixes de menor tamanho como acarás, pacus, traíras e piabas. Apenas nos rios de maior volume de água, como o rio Vermelho, o rio Manuel Alves Pequeno e seu afluente o Riozinho, é que se encontram espécies maiores como o jaú, e em maior quantidade. Segundo o relato de alguns indígenas, a pesca no Manuel Alves Pequeno não é tão farta por causa da concorrência com os moradores sertanejos e de Itacajá (GUERRA, 2004; MISTRY et al., 2004).

A precipitação média anual na estação chuvosa varia entre 1.600 e 1.800 milímetros. Os incêndios são comuns na estação da seca, onde ocorre uma queda na precipitação de cerca de 75%. Contudo, as paisagens caracterizadas por chapadas de arenito de idade paleozóica condicionam várias vias navegáveis dentro e fora da Terra Indígena (MISTRY et al., 2004).

O relevo é caracterizado por chapadas, com morros residuais de topos horizontais e aplainados, que são o testemunho das feições passadas desse relevo, que foi entalhado pelo ciclo das águas em um processo de recuo paralelo das vertentes desses morros. A altitude dessas feições varia entre 200 e 500 metros, maior valor a sudeste (MELATTI, 1972; GUERRA, 2004).

A Terra Indígena se insere em parte da microbacia de dois rios, o Manuel Alves Pequeno e o Vermelho, ambos afluentes do rio Tocantins (margem direita). Assim como o Cerrado é considerado o berço das águas no Brasil, a Terra Indígena Krahô é o berço de suas águas. Esse fato gera grande satisfação aos indígenas que se gabam de dispor de fartas nascentes de água pura e que não podem ser contaminadas pela ocupação do entorno de suas terras, o que, sem dúvida, é uma condição privilegiada (GUERRA, 2004).

Segundo Guerra (2004), na Terra Indígena identificam-se quase todas as fitofisionomias do Cerrado: Campo Limpo, Campo Sujo, Cerrado *strictu sensu*, Cerradão, Campos Hidromórficos e as Matas Ciliares e de Galeria. Essas vegetações constituem elemento fundamental para as sociedades indígenas Jê do Planalto Central, sobre as quais mantinham um controle rigoroso demonstrando grande conhecimento (GUERRA, 2004).

Martins et al. (2001), usando técnicas do diagnóstico participativo, identificaram com a população indígena cinco unidades de paisagens e o respectivo tipo de uso. De acordo com o autor as roças Krahô são implantadas nas unidades III e V da paisagem (Tabela 1).

Tabela 1 . Unidades da paisagem e o tipo de uso dado pelos Krahô.

Unidade	Rocha	Relevo	Solo	Vegetação	Uso da terra
I	Arenitos e conglomerados	Plano chapadas	Neossolo Litólico e Cambissolo	Cerrado Rupestre	Coleta e caça
II	Arcósios e argilitos	Multiconvexo	Cambissolo	Campo Limpo	Coleta e caça
III	Arenitos, arcósios e argilitos	Plano a suave ondulado	Neossolo Quartzarênico Latossolo e Argissolo	Floresta e Cerrado	Agricultura coleta e caça
IV	Sedimentos, colúvios e alúvios	Plano a suave ondulado	Neossolo Quartzarênico e Latossolo	Cerrado e Campo Limpo	Habitação, aldeias
V	Sedimentos aluvionares	Plano	Neossolo Quartzarênico, Latossolo e Gleissolo	Mata de Galeria	Agricultura

Fonte: Martins et al. (2001).

Hipóteses e objetivo

A incompreensão dos conhecimentos pedológicos afeta, sobremaneira, o entendimento de demandas por solo e território, por desconsiderar o seu contexto cultural. Assim, o objeto deste estudo é o conhecimento localmente produzido, socializado e territorializado pelo Povo Krahô na Terra Indígena Kraholândia. A investigação foi orientada pela hipótese de que o conhecimento pedológico Krahô e o conhecimento pedológico desenvolvido e formalizado pelos centros de pesquisa, ensino e extensão, em Ciência do Solo, integrados no decorrer da pesquisa, podem fornecer subsídios para a gestão sustentável da Terra Indígena Kraholândia. Para isso, este estudo teve como objetivos: acessar e organizar o conhecimento pedológico Krahô; traduzi-lo, utilizando-se dos conhecimentos pedológicos em Ciência do Solo; analisar o efeito histórico da produção e aplicação do conhecimento pedológico Krahô no seu ambiente; e produzir informações que corroborem para o desenvolvimento sustentável na Terra Indígena Kraholândia.

A pesquisa foi desenvolvida com o apoio logístico da Embrapa Cenargen e Embrapa Cerrados, dentro do Macroprograma 6 da Embrapa, Plano de Ação Número 5 – Caracterização ambiental da Terra Indígena Krahô, e como parte do projeto: “Estudos Etnobiológicos e Conservação da Agrobiodiversidade para Segurança Alimentar e Desenvolvimento Sustentável dos Povos Indígenas Krahô, Kayabi e Yawalapiti”.

Metodologia

A pesquisa tem sua estrutura metodológica subdividida em abordagem etnográfica, comparativa e integrada (BARRERA-BASSOLS; ZINCK, 2003).

A etnografia que este estudo propõe fazer não assume uma ou outra corrente científica, como a “clássica” ou a “pós-moderna”. Citando Caria (2003), “a nossa proposta é a de conjugar e fazer coexistir a linguagem da experiência, de estar e pensar no trabalho de campo, com a linguagem da teoria, que permite objetivar e racionalizar o que ocorreu”.

Para Geertz (1989), a etnografia é definida como um “tipo de esforço intelectual”, mais do que estabelecer relações, selecionar informantes, transcrever textos, levantar genealogias, mapear campos, manter um diário; mas “um risco elaborado para uma descrição densa”. Essa descrição, segundo Mattos (2001), representa a maior preocupação da etnografia: fazê-la da forma mais completa possível, sobre o que um grupo particular de pessoas faz e o significado das perspectivas imediatas que eles têm do que eles fazem.

Nesta abordagem etnográfica, que inclui observações, entrevista e questionários, o conhecimento pedológico local é corroborado a partir da descrição de como os Krahô tradicionalmente compõem o seu mundo, a sua cosmovisão (*kosmus*); e então, como formam os seus conceitos e categorias cognitivas (*corpus*); e por fim, como materializam este arcabouço no solo, por meio de suas práticas (*praxis*). O exame do complexo *kosmus-corpus-praxis* tem sido uma proposta da perspectiva etnoecológica (TOLEDO, 1992) regular em etnopedologia (TOLEDO, 2000).

Para detectar e descrever os fatores associados ao *kosmus*, *corpus* e *praxis* do conhecimento pedológico local, é usado o método da observação participante (VALLADARES, 2007), ou da vivência com os Krahô. Da observação dos eventos do cotidiano, esses fatores são anotados e desenvolvidos em entrevistas e questionários. Essas operações são registradas em diário de campo, em gravações de áudio, vídeo e imagem. O registro é realizado em português e no dialeto Krahô, com o auxílio de professores bilíngues locais, antropólogos e linguistas especializados.

Admitindo-se a elucidação do complexo *kosmus-corpus-praxis* do conhecimento pedológico Krahô, para averiguação das similaridades e diferenças com o conhecimento pedológico em Ciência do Solo, o mesmo é comparado ao da estrutura taxonômica do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), as concepções do Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995), o Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (SANTOS et al., 2005) e a avaliação das características dos solos, tendo como base os Métodos de Análise de Solo da Embrapa (EMBRAPA, 1997). Mais que distinções, o objetivo desta comparação é avaliar a capacidade, sob o ponto de vista pedológico, dos pedoambientes da

Terra Indígena suportarem a demanda Krahô por espaço agrícola. A relevância dos conhecimentos tradicionais Krahô para a sustentabilidade de sua organização social e ambiental é inquestionável. Contudo, essa sustentabilidade é sensível às dimensões territoriais impostas e ao contato vigente com a sociedade nacional. A pesquisa deve apresentar as razões ou os obstáculos a serem superados para equilibrar as necessidades sociais e ambientais dos Krahô no tocante do uso e manejo do solo sob as condições atuais.

Para a autonomia Krahô, qualquer programa de desenvolvimento, notadamente da agricultura, deve fundamentar-se nos seus conhecimentos mais tradicionais. A abordagem integrada assume a função de orientar sobre a gestão do território Krahô, herdando das etapas anteriores a significação do solo (etnografia) e as concepções do que o conhecimento pedológico Krahô facilita ou dificulta a continuidade de sua aplicação como sustentável (comparativa). Se nas etapas anteriores a participação indígena pode limitar-se a um número finito de especialistas do conhecimento pedológico local, para a proposição de mudanças no sistema Krahô de uso e manejo dos solos é indispensável o envolvimento direto de toda a comunidade indígena. Só assim poderão ser elaboradas as estratégias mais apropriadas para atender as necessidades sociais e ambientais dos Krahô.

O espaço de pesquisa é o das aldeias onde as suas lideranças estão de acordo com o termo de anuência do Macroprograma 6 da Embrapa. A pesquisa deve permear os pontos de vistas de técnicos e incluir ambos os conhecimentos pedológicos. A expectativa é a de que estes olhares possam retratar as possibilidades (realidades) subjetivas e objetivas dos Krahô. Contudo, segundo Moreira (2006), e tomando por base as comunidades costeiras: “Dessas identidades complexas, a realidade construída pela ciência só pode revelar indicadores e interpretações: meros registros de existência, nunca a própria existência das comunidades. Diferentes observadores, sob circunstâncias diversas também diferentes, concluirão verdades igualmente diferentes”.

Considerações finais

O Povo Krahô vive momento peculiar da sua história no que se refere a sua inserção social. Desdobraram-se como professores bilíngues, agentes de saúde e de comunicação, estudantes do ensino médio e superior, eleitores, beneficiários de auxílio maternidade, da bolsa família e de aposentadoria, funcionários de associação, de secretarias, de fundações, palestrantes em eventos da educação, saúde e pesquisa, dentre outras atividades. Mas esta não é a história da maioria. Ainda existem, no histórico Krahô, personalidades ainda bastante envolvidas, quiçá dependentes, de suas tradições com a terra, o *pjê*. Essa pesquisa esforça-se para, entre outras ambições utilitárias, manter viva a memória Krahô.

Têm sido diversos os indicativos de ambientes naturalizados pelos Krahô. Preliminarmente, *kên*, *Pon*, *Hituw* e *Irome* são os principais ambientes que integram a sua natureza, ou *pjêcuneã*. Os Krahô associam o *Ken* às pedras, morros com afloramentos e as serras. O *Pon*, às chapadas. O *Hituw*, como 'baixada'. O *Irome*, os Krahô associam às margens dos cursos d'água perenes. Sobre categorias de *pjêjiprohti* (solos ou terras), os Krahô citam principalmente o *pjêhtycti* (a terra que é preta), o *pjêntepti* (a terra que é vermelha), o *pjêjakati* (a terra que é branca) e o *pjênxôw* (a terra que é 'areião'). Com exceção do *pjênxôw*, característico do *Pon* e do *Hituw*, as demais categorias são agricultadas, mas somente as do *Irome*, com preferência ao *pjêhtycti* e *pjêntepti*.

Mesmo tendo seu território reduzido aos limites das Terras Indígenas, as comunidades indígenas guardam conhecimentos detalhados sobre as terras que dispõem. Para o avanço do conhecimento sobre o solo e das ações relativas a sustentabilidade das Terras Indígenas, é determinante que os estudos sejam elaborados participativamente, ponderando as suas necessidades sociais e ambientais.

Agradecimentos

A todos que se socializam através desta pesquisa.

Referências Bibliográficas

ALBUQUERQUE, U. P. A etnobotânica no Nordeste Brasileiro. In: CAVALCANTI, T. B. (Org.). **Tópicos atuais em botânica**. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia: Sociedade Botânica do Brasil, 2000. p. 241-249. Palestras convidadas do 51º Congresso Nacional de Botânica. 2000.

ALVES, A.G.C.; MARQUES, J. G. W. **Etnopedologia**: uma nova disciplina? Tópicos em Ciência do Solo, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. p. 321-344, 4 v.

ARAÚJO, J. C. L.; CORRÊA NETO, T. A.; OLIVEIRA, O. A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. Etnopedologia: Princípios do Sistema Aikewar de classificação do solo (SACS) In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., 2001, Londrina. **Fator de Produtividade Competitiva com Sustentabilidade**: anais. Londrina. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2001. 1. CD ROOM.

ARAÚJO, J. C. de L.; ANJOS, L. H. C., PEREIRA, M. G. Ethnopedology – stratification of the environment in a vernacular concept: the Aikewara people, Pará (BR) In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 18., Philadelphia. **Annals...** Philadelphia: International Union Soil Science Society, 2006. CD ROM.

ARAÚJO, J. C. de L. **Atributos do solo na interpretação do conhecimento de índios Mbya sobre a terra para agricultura**. 2007. 73 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

ARAÚJO, J. L. de; ANJOS, L. H. C. dos; PEREIRA, M. G. Atributos do solo e distinção de pedoambientes para a agricultura na terra indígena Mbya em Ubatuba (SP). **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1765-1776, Dez. 2009.

BALÉE, W. Indigenous adaptation to Amazon palm forests. **Principles**, v. 32, n.2, p. 47-54, 1988.

BARRERA-BASSOLS, N.; ZINCK, J. A. **Ethnopedology**: a worldwide view on the soil knowledge of local people. In: WINKLER, P. A.M.G.A.; SANDOR, J. A. (Ed.). **Ethnopedology**. Amsterdã: Geoderma, 2003, p.171-195. 111 v.

BRASIL. Decreto nº 99.062 de 07 de março de 1990. Homologa a demarcação da Área Indígena Kraholândia, Estado do Tocantins. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, Brasília, p. 4653, 8 mar. 1990. Seção 1. 1990.

BRASIL. Decreto nº 6.040 de 07 de fevereiro de 2007. Institui a Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável dos Povos e Comunidades Tradicionais. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, Brasília, n.28, p.316-317, 8 fev. 2007. Seção 1. 2007.

CARIA, T. H. A construção etnográfica do conhecimento em Ciências Sociais: reflexividade e fronteiras. In CARIA, T. H. (Org.). **Experiência Etnográfica em Ciências Sociais**. Porto Alegre: Afrontamento, 2003. p. 9-20.

CORREIA, J. R; ANJOS, L. H. C. dos; LIMA, A. C S.; NEVES, D. P; TOLEDO, L. de O.; CALDERANO FILHO, B.; SHINZATO, E. Relações entre o conhecimento de agricultores e de pedólogos sobre solos: estudo de caso em Rio Pardo de Minas, MG. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 31, p.1045-1057, 2007.

DIEGUES, A. C.; ARRUDA, R. S. V. **Saberes tradicionais e biodiversidade no Brasil**. Brasília: MMA; São Paulo: USP, 2001. 176 p. (MMA. Biodiversidade, 4).

DIEGUES, A. C. S. **O Mito Moderno da Natureza Intocada**. 3. ed. São Paulo: HUCITEC e NUPAUB, 161 p. 2001. 1 v.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro**

de classificação de solos. 2. ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FREIRE, O. **Solos das regiões tropicais.** Botucatu: FEPAF, 2006, 268 p.

GUERRA, E. F. Organização política e segurança alimentar na sociedade Krahô. 2004. 168f. Dissertação (Mestrado em Geografia e Gestão do Território) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

GEERTZ, C. **A interpretação das culturas.** Rio de Janeiro: Guanabara, 1989.

LEONEL, M. **O uso do fogo:** o manejo indígena e a piromania da monocultura. **Estudos Avançado**, São Paulo, v. 14, n. 40, p. 231-240, dez. 2000.

MATTOS, C. L. G. A abordagem etnográfica na investigação científica. **Revista Ines-espaço**, v. 16, p. 42-59, jul./dez., 2001.

MARTINS, E. S.; REATTO, A.; ANDRADE, L. M. de; RODRIGUES, L. M. R.; CARDOSO, A.; MENDES, I. de C. Relationship between landscape and land use at indigenous people Krahô's village, Brazil. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF ETHNOBOTANY, 3., 2001. Nápole. **Abstract...** Nápole: University of Naples, 2001. p. 21-21.

MELATTI, J. C. **O messianismo Krahó.** São Paulo: Ed. USP (Antropologia e Sociologia). 1972. 140 p.

MISTRY, J., BERARDI, A., ANDRADE, V., KRAHÔ, T., KRAHÔ, P., LEONARDS, O. Indigenous fire management in the cerrado of Brazil: The case of the Krahô of Tocantins. **Human Ecology**, v. 33, n.3, p. 365-386. 2004.

MOREIRA, R. J. Identidades complexas no conhecimento científico sobre comunidades costeiras. In: AMODEO, N. B. P.; ALIMONDA, H. **Ruralidades, capacitação e desenvolvimento.** Viçosa: Ed. UFV, 2006. p.177-200.

OLIVEIRA E COELHO NETO, A. L. O rastro do homem na floresta: a construção da paisagem da reserva Biológica Estadual da Praia do Sul (Ilha Grande/RJ) a partir das intervenções antrópicas. **Albertoa**, v. 4, n. 10, p.109-116, 1996.

ORTIZ-SOLORIO, C. A.; GUTIERREZ-CASTORENA, M. C. La etnoedafologia en Mexico, una vision retrospective. **Rev. Etnobiologia**, n.1, p.44-62, 2001.

PAWLUK, R. R.; SANDOR, J. A.; TABOR J. A. The role of indigenous soil knowledge in agriculture development. **J. of Soil and Water Conservation**, v. 47, n.4, p. 298-302, 1992.

POSEY, D. A. Reflorestamento indígena. **Ciência Hoje**, v. 6, n.31, p. 46-50. 1987.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3. ed. EMBRAPA-CNPS, Rio de Janeiro. 1995. 65 p.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. Viçosa, MG: SBCS, 2005. 100 p.

SILVA, C. F.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; SILVA, E. M. R.; CORREIA, M. E. F. Alterações químicas e físicas em áreas de agricultura no entorno do parque Estadual da Serra do Mar, Ubatuba - SP. **R. Ci. Agr.**, v. 46, p. 9-28, 2006.

SILVA, R. F. **Roca caiçara**: dinâmica de nutrientes, propriedades físicas e fauna do solo em um ciclo de cultura. 1998. 165 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

TOLEDO, L. O.; ANJOS, L. H. C. dos; COUTO, W. H.; CORREIA, J. R.; PEREIRA, M. G.; CORREIA, M. E. F. Análise multivariada de atributos pedológicos e fitossociológicos aplicada na caracterização de ambientes de Cerrado no norte de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 33, p. 955-966, 2009.

TOLEDO, V. M. What is ethnoecology? Origins, scope and implications of a rising discipline. **Ethnoecology**, v.1, p.5-21, 1992.

TOLEDO, V. M. Indigenous knowledge on soils: an ethnoecological conceptualization. In: BARRERA-BASSOS, N.; ZINCK, J. A. **Ethnoecology in a worldwide perspective: an annotated bibliography**. Enschede: International Institute for Aerospace., 2000. p. 1-9. Survey and Earth Sciences.

VALLADARES, L. Os dez mandamentos da observação participante. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 22, n. 63, p. 153-155. 2007.

WILLIAMS, B. J.; ORTIZ-SOLORIO C. A. Middle American folk soil taxonomy. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 71, v.3, p. 335-358. 1981.

WINKLER PRINS, A. M. G. A.; SANDOR, J. A. Local soil knowledge: insights, applications and challenges. In: WINKLER PRINS, A. M. G. A.; SANDOR, J. A. (Ed.) **Ethnopedology**. Amsterdã:

Popularização das ciências da terra como estratégia para conservação de solo e água: o caso do Estado do Rio de Janeiro

03

Kátia Leite Mansur

Introdução

O termo vulgarização científica é derivado do francês, enquanto a denominação popularização tem uso preponderante na língua inglesa. O primeiro é claramente rejeitado, dada a corrente interpretação negativa do termo “vulgarizar”. O segundo, apesar de bastante usado, por vezes enfrenta preconceito semelhante porque o “produto” popular muitas vezes é tratado como sendo de qualidade inferior.

No Brasil, difusão, disseminação e divulgação também são termos muito utilizados, muitas vezes como conceitos semelhantes. Eles, no entanto, têm sentidos diferentes, apesar da finalidade comum que é a comunicação. Segundo Bueno (1984), difusão envolve uma ampla gama de atores, desde os cientistas até a população dita leiga. A disseminação é feita entre cientistas, em congressos e periódicos, onde o público-alvo tem informação sobre o tema a ser tratado. Já a divulgação trata da comunicação científica para a população em geral, buscando, portanto, transmitir uma mensagem com conteúdo científico, por meio da decodificação dos termos pouco usuais para uma linguagem acessível. Busca-se, desta forma, alcançar o maior número de pessoas.

Candotti (2002) analisa a divulgação científica sob a ótica da democratização da informação. Para ele, educar e prestar contas do que se estuda e investiga é fundamental nas sociedades democráticas. Para esta afirmação ele busca respaldo na "Declaração sobre a ciência e o uso do conhecimento" que a UNESCO preparou para a Conferência Mundial

sobre a Ciência, realizada em Budapeste, em junho de 1999. O mesmo autor mostra preocupação quanto à resistência dos próprios cientistas em promover a circulação veloz dos conhecimentos por, em sua opinião, temerem a imprecisão e a rapidez com que pode se difundir conceitos equivocados.

A despeito das opiniões diversas sobre a eficácia da comunicação ou dos métodos empregados, todos têm acordo que é fundamental que não se faça concessão ao rigor dos conceitos. Para Gould (1992), não se justificam as críticas de que a população em geral não tem condições de entender textos de caráter científico, porque o leigo perspicaz e inteligente não é um mito e existe aos milhões. Almeida (1931) apud Massarani (1998) identificou que é importante que as pessoas se mantenham o máximo possível em contato com a ciência. Mesmo que elas não assimilem os conceitos específicos, será fixada uma mentalidade coletiva associada à ciência.

Moreira (2006) trata da inclusão social produzida pela divulgação científica e faz um balanço das ações levadas a termo no Brasil nos últimos anos:

“Tem sido observada nas duas últimas décadas uma expansão significativa de ações relacionadas à divulgação científica no Brasil: criação de centros e museus de ciência; surgimento de revistas e websites; maior cobertura de jornais sobre temas de ciência, em especial aqueles ligados à genética moderna e seus impactos; publicação crescente de livros; organização de conferências populares e outros eventos que despertam interesse em audiências diversificadas por todo o país. [...] Do ponto de vista da formação de profissionais na área de comunicação em ciência, as iniciativas são ainda incipientes, embora haja um interesse crescente por cursos deste tipo. Faltam também estudos e análises mais aprofundadas sobre as estratégias, práticas e o impacto das atividades de divulgação e sobre as características, atitudes e expectativas da audiência. A valorização acadêmica das atividades de extensão, em particular na divulgação científica, é ainda pequena. Pontos positivos a serem destacados foram a criação recente, pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), do Comitê Temático de Divulgação

Científica e o surgimento de vários editais para divulgação científica e extensão universitária. [...] Quanto à educação científica formal, o quadro se apresenta sombrio, com o desempenho em geral muito baixo dos estudantes brasileiros nos assuntos que envolvem ciências e matemáticas. O ensino de ciências é, em geral, pobre de recursos, desestimulante e desatualizado. Curiosidade, experimentação e criatividade geralmente não são valorizadas. Ao lado da carência enorme de professores de ciências, em especial professores com boa formação, predominam condições de trabalho precárias e pouco estímulo ao aperfeiçoamento” (MOREIRA, 2006).

Massarani et al. (2002) são da opinião que:

"Muitas iniciativas ligadas à divulgação da ciência têm despontado no Brasil nas últimas duas décadas. Novos centros e museus de ciência foram criados, livros e revistas foram publicados em número crescente, conferências públicas e eventos divulgativos se espalharam pelas principais cidades do país, temas da biotecnologia moderna galvanizaram interesse em jornais e na TV... Apesar desse esforço, estamos ainda longe de uma divulgação científica de qualidade e que atinja amplos setores da população brasileira; um caminho longo e tortuoso ainda está por ser percorrido. Do ponto de vista da formação de profissionais na área de comunicação em ciência, as iniciativas são incipientes e o quadro se mostra ainda bastante frágil do lado das análises e reflexões teóricas sobre as atividades de divulgação.

Os métodos de comunicação em Ciência, Tecnologia e Saúde (CTS) também têm evoluído grandemente. São muitos os trabalhos que tratam da abordagem dos conteúdos e da relação do cientista/pesquisador com as pessoas. Quanto a este último aspecto, vale ressaltar as pesquisas acerca dos modelos de comunicação pública em ciências (LEWENSTEIN; BROSSARD, 2005; NAVAS, 2008; NAVAS et al., 2007). O modelo mais tradicional, denominado Modelo de Déficit, parte do pressuposto que o cientista precisa aportar seu conhecimento para aqueles grupos que não o possuem. Desta forma, ele estaria suprindo um déficit de conhecimento. Esta forma de comunicação

recebe críticas por não levar em conta os saberes tradicionais, nem a transferência deste “poder” que a ciência traz consigo: o “poder do conhecimento”. Mais recentemente surgiu o Modelo da Participação Pública, que tem nesta transferência a base de sua aplicação, pelo estímulo à participação e por permitir a manifestação dos saberes populares em Ciência e Tecnologia. Neste modelo não há o foco na disseminação da informação e, sim, na forma como as pessoas se apropriam do conhecimento e o utilizam. Práticas associadas são as participações em fóruns, debates e reuniões, onde público comum e cientistas têm papéis equivalentes.

Se para a ciência em geral a divulgação para a sociedade enfrenta problemas, maiores ainda são os obstáculos para a divulgação de conceitos geológicos, em geral muito mais restritos aos meios acadêmicos. Cendrero-Uceda (1996) constata que, até na Espanha, onde o inventário de sítios geológicos iniciou-se em 1978, o Patrimônio Geológico tem recebido menor atenção do que outros tipos de patrimônio, elencando duas causas principais: (a) desinteresse dos geólogos, que têm sua atuação mais centrada na prospecção de recursos minerais, energéticos e hídricos ou em obras públicas, o que só recentemente vem mudando pela maior integração com os temas ambientais; e (b) a maioria das pessoas tem mais interesse pelos seres vivos do que pelos “elementos inertes” do meio natural e porque o componente geológico requer maior abstração para seu entendimento, em especial quanto ao tempo envolvido (bilhões e milhões de anos). Mondéjar (2007) informa que este quadro permanece ainda hoje e credita o problema a uma falha no sistema educacional.

Em países da Europa e nos EUA, os monumentos geológicos são preservados e transformados em museus ao ar livre com a colocação de painéis interpretativos sobre sua evolução. As rodovias são sinalizadas e roteiros estão disponíveis em pontos de venda diversos, permitindo que se percorra trajetos cuja história geológica está disponível (SCHMITT; MANSUR, 2000). No Brasil as iniciativas para popularização da geologia e preservação do Patrimônio Geológico são pontuais e descontínuas.

A iniciativa pioneira de promover a divulgação da geologia de todo um Estado ocorreu com a criação do Projeto Caminhos Geológicos, inaugurado em 2001 pelo Serviço Geológico do Estado do Rio de Janeiro

(DRM-RJ). O objetivo do projeto é o de promover a difusão do conhecimento geológico do Estado do Rio de Janeiro como base para a preservação de seus monumentos naturais, verdadeiro patrimônio de todos os cidadãos (MANSUR; ERTHAL, 2003). Como Serviço Geológico Estadual, o DRM-RJ buscou nas universidades e centros de pesquisa o apoio científico para levar à sociedade o entendimento da evolução geológica do Estado, como forma de ampliar as noções de respeito pela natureza. O projeto materializa-se por meio de painéis interpretativos em linguagem simples e direta colocados em locais de fácil acesso aos usuários e em pontos de boa observação dos monumentos sinalizados. Já foram implantados 87 painéis em 31 dos 92 municípios fluminenses. A iniciativa tem caráter educativo, científico, turístico e ecológico. Instituições públicas e/ou entidades técnico-científicas do Paraná, Bahia, Rio Grande do Norte e São Paulo já implantaram projetos semelhantes.

Os resultados já obtidos com o Projeto Caminhos Geológicos têm demonstrado que é possível uma aproximação verdadeira com a sociedade e embasam a afirmação de que a geologia possui apelo suficiente para atrair interesses de diferentes grupos, tanto em faixa etária quanto em condições socioeconômicas. A receptividade e interação com as pessoas dos locais onde os painéis foram implantados é uma realidade e esta relação é fundamental para se promover a Geoconservação, isto é, a proteção do patrimônio geológico - que são sítios de importância científica, didática, turística ou outra - contra as ameaças a sua integridade.

O Projeto PRODETAB Aquíferos

O equilíbrio dos sistemas hídricos, essencial para a sustentabilidade e competitividade do setor agrícola brasileiro, é prejudicado pelo uso e manejo inadequados das terras, gerando perdas significativas de solo, matéria orgânica, nutrientes, biodiversidade e, em especial, de água (FREITAS et al., 2005).

Com base nesta constatação, foi elaborado e executado o projeto “Planejamento Conservacionista das Terras e Modelagem Preditiva de Sistemas Aquíferos do Cristalino para a Recarga Hídrica em Bacias Hidrográficas de Relevo Acidentado”, financiado pelo Banco

Mundial/PRODETAB. Foi escolhida como área piloto a Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos – BHRSD (afluente do rio Muriaé, Complexo Hidrográfico do Rio Paraíba do Sul). A BHRSD ocupa uma superfície de 279 km², quase coincidente em área com o município de São José de Ubá, no Estado do Rio de Janeiro. A escolha desta bacia se deu face à forte pressão de uso existente, em particular pelas plantações de tomate e pastagens, e pelo fato da região ser periodicamente castigada por longas estiagens, ocasiões em que a maioria dos rios seca e a água subterrânea torna-se a alternativa para os diversos usos.

O projeto, sob coordenação geral da Embrapa-Solos e executado com a parceria do DRM-RJ, UFRJ, UERJ, ON, PUC-Rio, EMATER-RJ, INT, FEEMA, Prefeitura, entre outras instituições, teve como objetivo geral proporcionar diretrizes para a otimização da recarga do sistema hídrico da BHRSD, buscando maximizar a infiltração e a retenção da água por meio do planejamento integrado do uso e manejo dos recursos naturais.

Ao fim do projeto, em 2007, foram disponibilizados para a Prefeitura Municipal, escolas e produtores rurais, diversos resultados relacionados à qualidade e quantidade da água na BHRSD, tecnologia para produção de tomates sem resíduos de defensivos e com gasto mínimo de água, mapas de favorabilidade hidrogeológica e de vulnerabilidade da água subterrânea à poluição, cadernos interativos publicados, professores e alunos treinados, diagnóstico socioeconômico do município, mapa de uso e cobertura das terras, entre outros. Todo este material se configura como ferramenta essencial e necessária para a gestão territorial.

Ações de percepção ambiental vinculadas ao projeto

Entre as várias ações executadas durante a execução do projeto, entre 2003 e 2007, especial destaque deve ser dado àquelas relacionadas à promoção da percepção ambiental com professores e alunos em todas as escolas do município. Com a intenção de proporcionar uma tomada de consciência sobre o ambiente, foram realizados treinamento com os professores, bem como oficinas e palestras com os alunos. O aprendizado dos conceitos foi reforçado pela produção de dois cadernos interativos "Se esse rio fosse meu..."

(TALARICO, 2004) e "Minha terra, meu futuro" (TALARICO et al., 2005), para a segunda e quarta séries, respectivamente. Os professores aplicaram os cadernos durante o ano letivo nas 12 escolas do município. Em 2004, ao fim do primeiro ano de aplicação do livro "Se esse rio fosse meu" foi realizado um concurso de desenhos e redações (FREITAS, 2004) entre os alunos de todas as escolas. Cerca de 200 desenhos foram produzidos.

Para os alunos do ensino médio, foi realizado treinamento sobre qualidade da água e técnicas de monitoramento (PRADO et al., 2005) utilizando-se *kits* comercializados pela Fundação SOS Mata Atlântica, acrescidos de um medidor de nível d'água simplificado, produzido pelos técnicos do DRM-RJ, para utilização em poços domésticos. Este programa, denominado "SOS Nossas Águas" teve logomarca desenvolvida pelos próprios alunos e proporcionou uma visita dos participantes e professores responsáveis ao Parque Estadual do Desengano, em Santa Maria Madalena, onde os adolescentes puderam ter contato com uma área de Mata Atlântica nativa, com uma grande produção de água em nascentes preservadas.

Com os produtores rurais foram utilizados métodos já consagrados nos trabalhos da Embrapa como a implantação de Unidade de Pesquisa Participativa e Demonstrativa - UPEPADE, realização de "dias de campo" e seminários, além de participação em feiras e eventos agropecuários (CAPECHE et al., 2006).

O Projeto Caminhos Geológicos nas escolas de São José de Ubá

A promoção da educação ambiental é parte importante do escopo do Projeto Caminhos Geológicos (MANSUR; NASCIMENTO, 2007). Em São José de Ubá foi possível trabalhar os conceitos de geologia e hidrogeologia relacionados à conservação do solo e da água e à proteção ambiental em geral, com a participação direta das crianças. Isto foi feito, principalmente, por meio dos resultados da aplicação dos cadernos interativos produzidos especialmente para a BHRSD e disseminados nas escolas, com o apoio da Secretaria Municipal de Educação e dedicação dos 45 professores dos quase 700 alunos do ensino fundamental.

Da análise dos desenhos e redações feitos pelos alunos de 1ª a

4ª séries, em 2004, foi possível identificar o alto grau de absorção dos conceitos ambientais repassados em sala de aula. Com isto, decidiu-se por transformá-los em painéis do Projeto Caminhos Geológicos. Todos os painéis do projeto podem ser conhecidos na íntegra no endereço eletrônico www.caminhosgeologicos.rj.gov.br.

Identificou-se que os desenhos de cada escola apresentavam uma certa coerência e unidade, revelando temas muito específicos, como mapas e mudanças que ocorreram na paisagem, permitindo-se concluir que deviam expressar o trabalho direto do professor. Com isto, foi possível estabelecer um tema de painel para cada escola (MANSUR et al., 2005). Como forma de criar um vínculo com o projeto, a própria escola foi denominada de Ponto de Interesse Geológico no título principal. Para cada tema, escolhido a partir da análise dos desenhos, foi desenvolvido um subtítulo.

Os painéis foram implantados na parede das escolas, em geral na área de maior convivência dos alunos, como próximo ao pátio e refeitório, escolhido em conjunto com professores e direção. Os mesmos foram elaborados em chapas de ferro galvanizado, sobre a qual é colocada plotagem em alta resolução, que utiliza tinta com proteção UV, impressa em material adesivo. Sobre o conjunto foi colocada moldura em madeira.

Em todos os painéis foi colocado um mapa de localização da escola no município de São José de Ubá e do município no Estado do Rio de Janeiro. A função e forma de conversão da escala de centímetros em quilômetros foi também explicada. Todos os desenhos utilizados possuem legenda com o nome do aluno, série e professor.

Os subtítulos foram escolhidos de forma a chamar a atenção pelo uso de frases facilmente reconhecíveis, como ditados populares, títulos de livros, poesias e músicas, além de enunciados científicos, conforme listado a seguir. Além da aprendizagem relacionada ao conteúdo dos painéis, os alunos são estimulados à leitura, à arte e ao estudo de química, matemática, geografia e ciências. Todos os painéis foram implantados em 2005 (Figura 1).

a) Ponto de Interesse Geológico: Colégio Estadual Moacir Gomes de Azevedo - O tempo não pára... - o tema Tempo Geológico foi abordado porque os desenhos dos alunos mostravam diversos momentos da

ocupação do lugar, desde o ambiente natural até a cidade. Optou-se por mostrar a lenta evolução do planeta até o aparecimento do homem.

b) Ponto de Interesse Geológico: Escola Municipal Antônio José Curty - No meio do caminho tinha uma pedra... - muitos dos estudantes dessa escola apresentaram desenhos na forma de mapas. Sendo assim, utilizou-se o tema Mapa Geológico para o painel, explicando-se como é feito, para que serve e o que é representado num mapa deste tipo.

c) Ponto de Interesse Geológico: Escola Municipal Afonso Batista Pinto - O rio sempre corre para o mar - é explicado o trabalho construtivo e destrutivo dos rios, produzindo os diferentes tipos de vales.

d) Ponto de Interesse Geológico: Escola Municipal Antônio Gomes da Silva - De grão em grão a galinha enche o papo - é apresentado o processo de formação da paisagem, em particular pela desagregação das rochas nos maciços montanhosos e acumulação no leito dos rios, principal característica do córrego que corta a comunidade rural do Colosso, onde se localiza essa escola.

e) Ponto de Interesse Geológico: Escola Municipal Antônio Paula Silva - Um por todos e todos por um! - utilizando-se do lema dos Três Mosqueteiros, buscou-se explicar o papel dos minerais na formação das rochas.

f) Ponto de Interesse Geológico: Escola Municipal Fazenda Campo Grande - Numa folha qualquer eu desenho um sol amarelo... - este painel trata do sistema solar e ressalta a importância do sol para o ambiente da Terra. O Sol, como motor do Ciclo Hidrológico, está presente em todos os desenhos da escola.

g) Ponto de Interesse Geológico: Escola Municipal José Ivo Ribeiro da Silva - Chegamos ao fundo o poço... - são explicados os poços tubulares, as cacimbas ou poços domésticos e a qualidade da água. O poço da escola aparece em desenhos dos alunos.

h) Ponto de Interesse Geológico: Escola Municipal Maria Ramos de Azevedo - Quem semeia vento colhe tempestade - mostra como a natureza reage às alterações produzidas pelo homem. Também é trabalhado o conceito da interação entre a água superficial e a subterrânea.

i) Ponto de Interesse Geológico: Escola Municipal Panelão - Viagem ao Centro da Terra - são abordados alguns conceitos relacionados à Tectônica de Placas e sobre como esta teoria unificadora explica a

origem das rochas de São José de Ubá.

j) Ponto de Interesse Geológico: Escola Municipal Pedro Teixeira de Siqueira - Água mole em pedra dura... - são apresentados os processos de intemperismo, erosão e assoreamento, explicados de forma graciosa pelo desenho que os professores e os alunos da turma da alfabetização produziram.

k) Ponto de Interesse Geológico: Escola Municipal Ponte Preta - Na natureza nada se perde, nada se cria, apenas se transforma - com o enunciado da Lei da Conservação da Massa, ou Lei de Lavoisier, busca-se explicar o Ciclo Hidrológico, mostrando como a água passa de um estado a outro.

l) Ponto de Interesse Geológico: Escola Municipal Vovó Laura Espíndola Ferreira - Tem gato escondido com o rabo de fora! - este painel trata da contaminação da água subterrânea que nem sempre é percebida. No trabalho dos alunos, observa-se a preocupação em fazer alguma coisa contra a poluição das águas.



Figura 1. Fotos dos painéis implantados, desenhos elaborados pelos alunos e evento de encerramento dos trabalhos em 2005.

Considerações finais e conclusões

O Projeto Caminhos Geológicos se mostrou adequado quando utilizado no meio rural e ao espaço escolar, com elevado grau de aceitação pela população. A necessidade de manutenção tem sido nula porque todos os painéis de São José de Ubá encontram-se em perfeito estado de conservação por estarem inseridos nas escolas, diferente de muitos outros que vem sofrendo com o vandalismo nas cidades maiores e áreas turísticas.

A geologia e outras ciências da terra foram muito bem entendidas, demonstrando que os conceitos podem ser perfeitamente

absorvidos pelas crianças e adolescentes. Ficou claro que ocorreu a conscientização do público-alvo para a conservação de solo e água, atingindo plenamente o objetivo de promoção da percepção ambiental para o território municipal.

Neste contexto, deve-se trazer para a discussão, a importância do ensino das ciências da Terra nos ciclos fundamental e médio de uma forma diferente do que hoje é realizado, quando a geologia é apresentada de forma desconectada do contexto da matéria, recebendo mínimo destaque em matérias como Ciências e Geografia, na 5a. série do ensino fundamental e 1º ano do ensino médio. Na ausência de conceitos básicos aprendidos na escola, a divulgação científica passa a ser mais difícil de ser feita. Torna-se pouco atraente e assunto para alguns privilegiados.

A metodologia de uso de painéis interpretativos pode, ainda, ser expandida para outro público-alvo no meio rural, os próprios produtores rurais. Sendo assim, acredita-se que os mapas de vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas, os dados de qualidade da água e os resultados dos trabalhos desenvolvidos na UPEPADE, por exemplo, poderiam ser divulgados em painéis colocados no mercado do produtor municipal, onde os tomates produzidos na região são distribuídos para o país. Assim, os resultados do projeto poderiam ser publicados em linguagem apropriada e de forma atrativa para a população em geral e os produtores em particular. Esta metodologia tem potencial para ser utilizada em outros projetos em bacias hidrográficas diferenciadas, em prol do manejo e conservação do solo e da água.

Referências bibliográficas

BUENO, W. C. **Jornalismo científico no Brasil: os compromissos de uma prática dependente.** 1984. 172 f. Tese (Doutorado) – Escola de Comunicação e Arte, Universidade de São Paulo, São Paulo.

CANDOTTI, E. Ciência na educação popular. In: MASSARANI, L.; MOREIRA, I. C.; BRITO, F. **Ciência e Público: caminhos da divulgação científica no Brasil.** Rio de Janeiro: UFRJ, 2002. (Série Terra Incógnita, 1). p. 15 - 23.

CAPECHE, C. L.; PRADO, R. B.; MANSUR, K. L.; PIMENTA, T. S.; FREITAS, P. L.; TALARICO, T. E.; FIDALGO, E. C. C.; MACEDO, J. R., BHERING, S. B. Atividades de percepção ambiental desenvolvidas pelo Projeto Aquíferos em São José de Ubá – Rio de Janeiro. In: WORKSHOP DE INTEGRAÇÃO DE INFORMAÇÕES OBTIDAS NO ÂMBITO DO PROJETO PRODETAB AQUÍFEROS, 2006, Rio de Janeiro. **[Anais...]** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 1 CD-ROM.

FREITAS, P. L. **Curso de Educação Ambiental para Professores do Ensino Fundamental**: versão 2004. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 31 p. Relatório Final.

FREITAS, P. L.; FIDALGO, E. C. C.; MANSUR, K. L.; BENITES, V. M.; FERNANDES, N. F. Uma proposta de planejamento conservacionista das terras e modelagem preditiva de sistemas aquíferos do cristalino. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 9., Niterói, 2005. **[Anais...]** Niterói: Sociedade Brasileira de Geologia, 2005. p. 112.

GOULD, S. J. **Viva o Brontossauro**: reflexões sobre história natural. São Paulo, Cia das Letras, 1992. 523 p.

MANSUR, K. L.; ERTHAL, F. L. C. Preservação do Patrimônio Natural – Desdobramentos do Projeto Caminhos Geológicos – RJ. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 8., São Pedro, 2003. **[Anais...]** São Pedro: Sociedade Brasileira de Geologia, 2003. p. 235.

MANSUR, K. L.; FREITAS, P. L.; TALARICO, T. E.; CAPECHE, C. L.; GUEDES, E.; GUIMARÃES, P. V.; MEDEIROS, F. Projeto Caminhos Geológicos nas escolas: o caso de São José de Ubá - RJ. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 9., Niterói, 2005. **[Anais...]** Niterói: Sociedade Brasileira de Geologia, 2005. p. 207.

MANSUR, K. L., NASCIMENTO, V. M. R. Disseminação do conhecimento geológico: metodologia aplicada ao Projeto Caminhos Geológicos. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA EM ENSINO E HISTÓRIA DE CIÊNCIAS DA TERRA e SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE ENSINO DE GEOLOGIA NO BRASIL. 1 e 3., Campinas, 2007. **[Anais...]** Campinas: UNICAMP, 2007. 1

C D - R O M . D i s p o n í v e l e m :
<<http://www.ige.unicamp.br/simposioensino/artigos/025.pdf> >.
Acesso em: 10 jun. 2008.

MASSARANI, L. **A divulgação científica no Rio de Janeiro**: algumas reflexões sobre a década de 20. 1998. 177 f. Dissertação (Mestrado) - UFRJ-IBICT, Rio de Janeiro.

MASSARANI, L.; MOREIRA, I. C.; BRITO, F. **Ciência e Público**: caminhos da divulgação científica no Brasil. Rio de Janeiro: UFRJ, 2002. (Série Terra Incógnita, 1). 232 p.

MONDÉJAR, F. G. El patrimonio geológico: cultura social y ordenación del territorio. In: CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE GEOLOGIA Y MINERIA EM LA ORDENACIÓN DEL TERRITORIO Y EM EL DESARROLLO.1., Utrillas, 2007. **Librillo Preliminar de Actas**. Utrillas: SEDPGYM. 2007. p. 6-7.

PRADO, R. B.; CAPECHE, C. L.; PIMENTA, T. S. **Capacitação para o Programa de Educação Ambiental: monitoramento da qualidade da água utilizando kits, na bacia hidrográfica do rio São Domingos -RJ**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2005. 44. p. (Embrapa Solos. Documentos, 74).

SCHMITT, R. S., MANSUR, K. L. **Projeto caminhos geológicos**. Niterói: DRM-RJ, 2000. 11 p. Texto inédito.

TALARICO, T. E. **Se esse rio fosse meu...**: caderno interativo de educação ambiental: ensino fundamental - ciclo I e II. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 52 p.

TALARICO, T. E.; FREITAS, P. L.; CAPECHE, C. L.; MANZATTO, C. V.; FIDALGO, E. C. C.; SILVA JUNIOR, G. C. da; MENEZES, J.; MANSUR, K. L.; SILVA, L. P. da; PRADO, R. B.; FERRAZ, R. P. D. **Minha terra, meu futuro**: educação ambiental: ensino fundamental - Ciclo II. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2005. 104 p.

CENDRERO-UCEDA, A. C. El patrimonio geológico: ideas para su protección, conservación y utilización. In: MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTES Y MEDIO AMBIENTE. **El patrimonio geológico**: Bases para su valoración, protección, conservación y utilización. Madrid: MOPTMA, 1996. p.17-27.

UNESCO. **Convenção para a proteção do patrimônio mundial, cultural e natural**. Paris: UNESCO, 1972. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001333/133369por.pdf>>. Acesso em 18 mar. 2008.

UNESCO. **Declaração sobre a ciência e o uso do conhecimento**. Budapeste: UNESCO, 1999. Disponível em: < <http://www.mct.gov.br>>. Acesso em: 03 abr. 2008.

*Renato Linhares de Assis
Adriana Maria de Aquino*

Introdução

O Núcleo de Pesquisa e Treinamento para Agricultores (NPTA) da Região Serrana Fluminense surgiu como resultado de negociação entre a Prefeitura Municipal de Nova Friburgo e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), com o intuito de aproximar os pesquisadores, em especial das três Unidades desta Empresa no Estado do Rio de Janeiro (Solos, Agrobiologia e Agroindústria de Alimentos), da realidade agrícola da Região Serrana Fluminense, área de agricultura mais dinâmica no Estado e conhecida pela produção de hortaliças, flores e frutas. Inaugurado em 2007, o NPTA tem sua sede localizada junto à Secretaria Municipal de Agricultura de Nova Friburgo e um espaço físico no meio rural, cedido pela Associação dos Pequenos Produtores e Moradores de Santa Cruz e Centenário, no Terceiro Distrito desse município.

A Região Serrana Fluminense caracteriza-se por relevos montanhosos, solos pouco espessos e lixiviados (Cambissolos e Latossolos Vermelho-Amarelos álicos) e um clima úmido e ameno. Nessa região, especialmente, os poucos remanescentes das florestas da Mata Atlântica desempenham papel muito importante na captação e distribuição de água de chuva nas bacias hidrográficas. As atividades agrícolas ocupam as restritas planícies fluviais e as baixas vertentes menos declivosas do domínio montanhoso.

De acordo com o censo demográfico IBGE (2000), das oito regiões de governo do estado do Rio de Janeiro, a Serrana é a que apresenta a maior população residente no meio rural (126.806

habitantes). Dos 14 municípios que compõem a referida região (Figura 1), seis se destacam por terem mais de 10 mil habitantes residindo no meio rural: Bom Jardim, Nova Friburgo, São José do Vale do Rio Preto, Petrópolis, Sumidouro e Teresópolis.

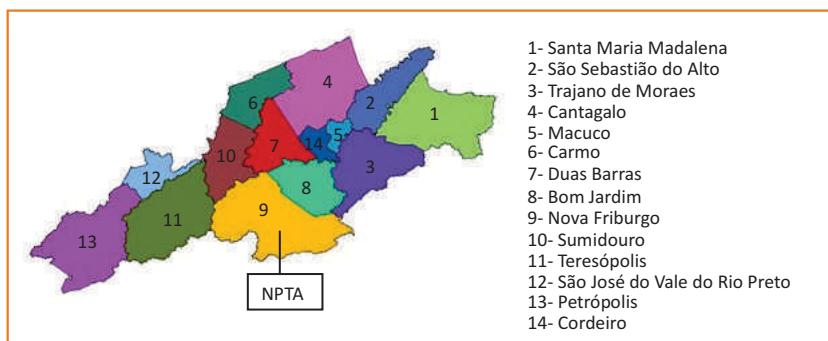


Figura 1. Região Serrana Fluminense e a localização dos municípios.

Todos estes municípios, segundo dados do censo agropecuário de 1995/1996, tabulado conforme a metodologia elaborada no convênio FAO/INCRA (GUANZIROLI et al., 2001), apresentam mais de oitenta por cento de seus estabelecimentos rurais sob economia familiar; a exceção de Petrópolis que tem 60,2% de seus 327 estabelecimentos rurais com proprietários deste segmento (Tabela 1). Os municípios de Nova Friburgo e Teresópolis apresentam o maior número de estabelecimentos rurais de economia familiar, 1607 e 2.726, respectivamente (INCRA, 2007).

Tabela 1. Principais municípios da região serrana fluminense, número de estabelecimentos familiares e patronais, área total ocupada pelos estabelecimentos, percentual da área total que é ocupada pelos estabelecimentos familiares e percentual de estabelecimentos que auferem rendas baixas ou quase sem renda.

Município	Nº de unidades familiares	% de unidades familiares	Nº de unidades patronais	% de unidades patronais	Área agrícola total (ha)	% de área agrícola familiar	% de famílias com renda monetária baixa ou quase nula
Teresópolis	2.726	92,3	227	7,7	20.031	41,3	21,5
Sumidouro	1.278	84,8	228	15,1	24.235	57,0	39,8
São José do Vale do Rio Preto	626	90,5	65	9,4	10.936	42,2	50,2
Nova Friburgo	1.607	87,7	211	11,5	29.979	62,7	45,2
Bom Jardim	688	80,5	164	19,2	23.208	44,1	52,6
Petrópolis	197	60,2	111	33,9	8.402	12,3	40

Fonte: Censo Agropecuário (1995/1996) ²⁰.

²⁰ Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/1995_1996/default.shtm>. Acesso em: 13 mar. 2010.

A agroecologia como base da atuação

A agricultura na Região Serrana Fluminense caracteriza-se por altas produtividades baseadas na utilização de tecnologias industrializadas, notadamente fertilizantes sintéticos concentrados e agrotóxicos (GUERRA et al., 2007). Estudos realizados na região mostram que o uso generalizado dos agrotóxicos, tem levado à contaminação do lençol freático e comprometido a saúde, especialmente, dos agricultores que plantam flores (CASTRO, 1999; PERES, 1999). Esse modelo de agricultura tem levado a uma vulnerabilidade social e a um acentuado processo de degradação ambiental que termina por comprometer a capacidade produtiva das unidades familiares. Altas taxas de erosão são verificadas como decorrência do uso generalizado de práticas pouco conservacionistas, levando ao aumento para os agricultores dos já elevados riscos econômicos, face os altos custos dos insumos utilizados, associados à incerteza de preço para os produtos agrícolas que remunerem adequadamente os produtores.

Nesse sentido, as práticas agroecológicas tem um potencial positivo como referencial teórico e instrumental importante, na implementação de processos de desenvolvimento agrícola sustentável, que tenham a agricultura familiar como foco prioritário (ASSIS; ROMEIRO, 2005).

A Agroecologia é uma ciência que resgata o conhecimento agrícola tradicional desprezado pela agricultura moderna, e procura fazer sua sistematização e validação de forma que este possa ser (re)aplicado em novas bases científicas. Além disto, na medida que expressa em seus princípios, que para sua prática é necessário um ser humano desenvolvido e consciente, com atitudes de coexistência e não de exploração para com a natureza (ALTIERI, 1989), a Agroecologia se apresenta no Brasil como uma forma de resistência contra a devastadora onda modernizadora e contra a expropriação completa dos agricultores (CANUTO, 1998), o que integra propostas agroecológicas com outras voltadas a desenvolver a Agricultura Familiar.

Sistemas de produção agroecológicos potencializam o uso dos recursos locais, focalizam a propriedade como um todo, ao mesmo

tempo que buscam a produtividade a partir da formação de um agroecossistema vigoroso que consiga responder favoravelmente de forma autônoma, a períodos de estresse. Para isto, procura-se trabalhar com uma diversificação de atividades, buscando-se a melhoria da fertilidade natural dos solos a partir da ampla utilização de práticas como a adubação verde e adubação orgânica com esterco proveniente de criações, integrando atividades de produção vegetal e animal (ASSIS, 2002).

Neste sentido, a Região Serrana Fluminense apresenta-se com experiências pioneiras, tanto de produção como de pesquisa que, articulando agricultores e pesquisadores, contribuam para o entendimento dos processos agroecológicos.

No que se refere à produção agrícola, remonta a 1978, na comunidade dos Albertos em Petrópolis, a formação do primeiro núcleo de produção orgânica do Estado do Rio de Janeiro (GUERRA et al., 2007), núcleo este que, somado a outras experiências neste sentido que vieram a ocorrer na região, principalmente, determinaram a formação em 1984 da Associação de Agricultores Biológicos do Estado do Rio de Janeiro (ABIO).

Em relação à pesquisa, observa-se um longo histórico de cooperação entre as diferentes iniciativas institucionais fluminenses em agroecologia. Dentre essas, destaca-se a Rede Agroecologia Rio²¹, formada em 1998, com foco de atuação na pesquisa participativa e na agricultura familiar, que teve como pionerismo a articulação entre todos os elos da cadeia produtiva da agricultura orgânica no estado do Rio de Janeiro. Esta articulação teve como objetivo contribuir para o desenvolvimento de comunidades rurais, a partir da difusão de conhecimentos e tecnologias agroecológicas gerados pela pesquisa agrícola. A Rede Agroecologia Rio concentrou sua atuação inicial junto a sistemas de produção familiares de hortaliças, através de quatro áreas pólo, sendo metade situada na Região Serrana Fluminense.

O fato de ser a olericultura a atividade agrícola de maior

²¹ A Rede Agroecologia Rio foi formada com a união dos esforços das seguintes sete instituições: Associação de Agricultores Biológicos do Estado do Rio de Janeiro (ABIO); Agrinatura Alimentos Naturais Ltda. (AGRINATURA); Assessoria e Serviços em Agricultura Alternativa (AS-PTA); Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Rio de Janeiro (Emater-Rio); Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (Pesagro-Rio); Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRuralRJ); Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Agrobiologia).

expressão no estado do Rio de Janeiro sob produção familiar foi fator determinante para que a Rede Agroecologia Rio concentrasse sua atuação inicial junto a estes sistemas de produção. A efetiva participação dos agricultores no processo de geração e difusão da pesquisa foi então condição básica para o trabalho, sendo este fator determinante para que o corpo de pesquisadores envolvidos incorporasse a lógica do processo participativo como fundamental para o desenvolvimento de conhecimentos acerca de sistemas de produção agroecológicos.

Esta experiência, aliada a ações subsequentes, desenvolvidas por pesquisadores da Embrapa junto às comunidades de agricultores familiares em municípios da Região Serrana Fluminense (destaque para Petrópolis, São José do Vale do Rio Preto, Bom Jardim e Nova Friburgo), possibilitaram a construção de novos conhecimentos, agregando as experiências prática e acadêmica, respectivamente, dos agricultores e pesquisadores. O destaque nesta trajetória foi no sentido de aprofundar a transição agroecológica dos sistemas de produção familiares com a incorporação de novas práticas de manejo que otimizem os processos ecológicos e que favoreçam o desempenho produtivo e econômico das unidades agrícolas (GUERRA et al., 2007).

A proposta de pesquisa participativa

A maior parte das instituições de ensino e pesquisa tem desenvolvido projetos baseados no modelo linear de transferência de tecnologias, no qual a pesquisa gera o conhecimento, a extensão transfere e o agricultor adota. Este enfoque tem sido questionado em função da baixa apropriação por parte dos agricultores. Isto se deve, principalmente, em função do pouco peso dado aos valores locais dos agricultores, em detrimento dos globais.

Os métodos tradicionais de transferência de tecnologia, empregados pelas agências de extensão rural e de fomento agropecuário, têm mostrado efetividade e eficiência em atingir agricultores com disponibilidade de recursos para investimentos e inseridos no mercado. Porém, no que se refere a agricultores familiares, com pouca disponibilidade de recursos naturais e pequena capacidade de investimento, não tem demonstrado a mesma efetividade (ALTIERI,

1989; LACKI, 1995).

Segundo Assis (2002), nos marcos dessa concepção, a pesquisa e o desenvolvimento dos modernos sistemas de produção foram orientados para a incorporação de pacotes, tidos como de aplicação universal, destinados a maximizar o rendimento dos cultivos em situações ecológicas profundamente distintas. Além disto, de acordo com o mesmo autor, apesar do processo de modernização ter proporcionado a agricultura brasileira um grande dinamismo nos seus componentes estruturais, este teve um caráter excludente, aumentando a concentração de riquezas e disparidades regionais no país, além de desequilíbrios ecológicos e comprometimento dos ganhos de produtividade.

Percebe-se cada vez mais que os conhecimentos inatos dos agricultores familiares podem ser muito importantes para apontar maneiras de melhorar seus sistemas agrícolas, na medida que estes conhecimentos possibilitaram que eles sobrevivessem gerações e gerações, além de refletirem uma interação estreita com o meio ambiente no qual trabalham (FRIEDRICH et al., 1995), no que, torna-se fundamental revalorizar e integrar a capacidade investigativa dos agricultores nos processos de construção de conhecimentos sobre manejo agrícola (PETERSEN, 2001).

Percebe-se assim, a necessidade de um aprofundamento metodológico na questão da pesquisa e difusão de conhecimentos e tecnologias, tanto no sentido de pesquisa para agricultor, como no sentido do agricultor para o pesquisador, e uma avaliação real da eficiência e efetividade da adoção e adaptação das tecnologias, como também na apropriação dos conhecimentos e princípios científicos pelos agricultores. Por outro lado, também é necessária a avaliação das alternativas conhecidas e utilizadas pelos agricultores, as quais apesar de nem sempre serem cientificamente reconhecidas podem ser mais adequadas à realidade dos agricultores que serão o alvo deste trabalho.

O núcleo de pesquisa e treinamento para agricultores e a inclusão de um novo tema na agenda de pesquisa

A partir do entendimento de que as metodologias tradicionalmente utilizadas para a transferência de tecnologias não

estão se mostrando efetivas para as características da agricultura familiar e, considerando a experiência da Rede Agroecologia Rio e outras anteriores das três Unidades da Embrapa no Estado do Rio de Janeiro e seus parceiros na Região Serrana Fluminense, construiu-se proposta para estabelecimento de um Núcleo de Pesquisa e Treinamento para Agricultores (NPTA) no município de Nova Friburgo. Esta construção ocorreu tendo por base o pensamento de que é necessária a criação e utilização de métodos que possibilitem o envolvimento do próprio produtor rural na avaliação das soluções desenvolvidas pela pesquisa e adaptação destes resultados às condições de sua unidade produtiva, conforme apresenta Petersen (1998).

Desta forma, o desafio que se impôs ao NPTA desde a sua concepção foi a utilização de métodos passíveis de serem moldados conforme as características sociais, econômicas e ambientais locais. Assim, com ênfase na promoção do incremento e manejo adequado do nível de matéria orgânica do solo, através da ação participativa entre pesquisadores e agricultores, objetiva-se contribuir para que estes avancem no processo de transição agroecológica, a partir da racionalização do uso de insumos. A partir desta ação inicial, verificou-se a demanda por ações de pesquisas do NPTA que viabilizem alternativas ao manejo de solo tradicionalmente utilizado, contribuindo para o desenvolvimento de sistemas de produção adaptados a realidade dos ambientes de montanhas característicos da Região Serrana Fluminense.

Apesar da importância dos ecossistemas de montanhas e das questões sociais, ambientais e econômicas relacionadas à sua exploração, inexistem no país grupos de pesquisa interdisciplinares focados no seu estudo. As montanhas representam 16,91% do território nacional e desde 2002 o tema é considerado Ponto Focal na Convenção da Biodiversidade Biológica, da qual o Brasil é signatário. O Ministério do Meio Ambiente criou a Câmara Técnica sobre Ecossistemas de Montanhas e está elaborando o Programa Nacional de Pesquisas e Conservação em Ambientes de Montanhas.

Enquanto importante ecossistema que representa a ecologia complexa e interrelacionada de nosso planeta, os ambientes montanhosos são essenciais para a sobrevivência do ecossistema

mundial. No entanto, estão passando por uma rápida mudança. Eles são vulneráveis à erosão acelerada do solo, deslizamentos de terras e rápida perda da diversidade genética e de habitat. No que diz respeito ao homem, verifica-se um estado generalizado de pobreza entre os habitantes das montanhas e a perda do conhecimento autóctone. O resultado é que a maior parte das áreas montanhosas do mundo está experimentando degradação ambiental. Em decorrência, o gerenciamento adequado dos recursos montanhescos e o desenvolvimento socioeconômico das pessoas exigem ação imediata (GERENCIAMENTO..., 1992).

Assim, ao se pensar em agricultura de montanha é fundamental gerar conhecimentos e tecnologias para o desenvolvimento sustentável dessas áreas e conciliar a produção econômica frente à legislação das áreas de preservação permanente, que considera essas áreas impróprias para cultivo. Vários países já estabeleceram programas, agências ou Institutos de Pesquisa para tratar esse tema. Nesse sentido, estrategicamente localizado em Nova Friburgo, município caracterizado como pólo econômico regional e importante produtor de hortaliças (maior produtor de couve-flor do país), o NPTA está se consubstanciando como oportunidade para, a partir das informações locais, contribuir para a internalização do tema agricultura de montanha na Embrapa, motivando outras iniciativas no país para a geração de conhecimentos e tecnologias adaptadas ao desenvolvimento sustentável dos ambientes de montanhas.

Ações do NPTA

Considerando a proposta participativa com foco na agroecologia para as ações do NPTA, aliado a importância da produção de hortaliças para a região, notadamente do cultivo de couve-flor, caracterizou-se a demanda por ações de pesquisas que viabilizem alternativas ao manejo de solo tradicionalmente utilizado. Isto, face à ocorrência generalizada na região da doença conhecida como hérnia das crucíferas, cujo agente causal (*Plasmodiofora brassicae*) se encontra largamente disseminado, em decorrência principalmente de manejo e preparo inadequado do solo, sendo sua ocorrência aumentada nos plantios de verão (Figura 2).



Figura 2. Aspecto de raiz de planta de couve-flor com a doença conhecida como h ernia das cruciferas.

Este problema fitossanitário   exemplar no que tange ao nível de desequilíbrio ambiental regional e o impacto deste nos níveis de produtividade e custos de produção. Analisando historicamente a cadeia produtiva de hortaliças da região, em especial a produção de couve-flor, verifica-se que havia um uso intensivo de cama de aviário, caracterizando forte integração desta com a cadeia produtiva de aves localizada no município vizinho de Bom Jardim. Com a mudança locacional, observada há cerca de 10 anos, dos custos de oportunidade relativos a produção avícola, esta sofreu uma derrocada naquele município. Este fato determinou para os produtores a necessidade de buscarem alternativas para adubação. Isto foi feito com redução acentuada dos níveis de adubação orgânica, com o incremento do uso de adubos sintéticos em substituição. Este fato tem sido entendido como o que possibilitou ao patógeno em questão, normalmente presente no solo, mas mantido sob controle a partir de mecanismos supressores e antagonistas estabelecidos pela biota do solo, que viesse a se tornar um problema crônico nos sistemas de produção.

Não há estudo avaliando, de forma precisa, o impacto desta doença na economia da produção de hortaliças na região, mas relatos de agricultores d o conta de que, em plantios de verão, as perdas de produção giram em torno de 40 a 60 %, fato que pode ser facilmente

observado de forma empírica através de visita a região na época em questão.

As alternativas que se apresentam referem-se a mecanismos que possam novamente proporcionar aporte de matéria orgânica aos sistemas de produção, no mínimo nos níveis anteriores. Isto tem sido buscado nas ações do NPTA, via produção de materiais na própria unidade de produção agrícola, qual seja, utilização de rotação de cultivos com plantas de cobertura de solo, quer com sistema de preparo do solo convencional ou de plantio direto (Figura 3).



Figura 3. Cultivo de couve-flor sob sistema de plantio direto após pré-cultivo de aveia-preta em Nova Friburgo, RJ.

Outra possibilidade refere-se ao uso de material orgânico disponível na região, como restos de abatedouros de aves adequadamente compostados, disponível no município de São José do Vale do Rio Preto, onde, diferente do que ocorreu em Bom Jardim, em que o pólo avícola baseava-se na integração concentrada em uma indústria, esta produção se manteve acoplada a estrutura de pequenos abatedouros. Considera-se que esta produção avícola não tem condições de atender plenamente a demanda regional por esterco/cama de aviário e que há necessidade de solução para demanda ambiental relacionada à disposição adequada de restos orgânicos oriundos deste complexo avícola. O trabalho articulado entre

a Prefeitura deste município, Emater-Rio e Associação Horta Orgânica tem disponibilizado composto orgânico produzido a partir deste material.

Com outra vertente, resultados de literatura (MAY et al., 1997; LIMA et al., 1997; HASSE, 2005) apontam a possibilidade de controle do referido patógeno de solo a partir de duas abordagens fitotécnicas. A primeira que tem se apresentado como alternativa interessante é a que favorece a melhor drenagem do terreno, com plantios em camalhão nas áreas de baixada, com dificuldades de drenagem. A segunda pauta-se pelo uso de rotações que incluam o pré-cultivo de plantas medicinais ou aromáticas, com efeito inibidor sobre o desenvolvimento do fungo e, neste sentido, destacam-se plantas como a salsa e o coentro.

A região, notadamente Nova Friburgo, destaca-se ainda como importante pólo produtor de flores de corte (rosa, palma, crisântemo, samambaia, copo de leite, gipson, tango e áster), representando, segundo levantamento da Secretaria de Agricultura deste município, 240 ha de área plantada (PREFEITURA MUNICIPAL DE NOVA FRIBURGO, 2004), em quase toda sua totalidade localizada em seu quinto distrito. Esta produção, apesar de expressiva e contribuir significativamente para a geração de renda no meio rural, caracteriza-se por padrões de qualidade aquém do desejado, o que determina que esta produção em seu principal mercado, a cidade do Rio de Janeiro, seja em muito preterida em função da produção de flores de corte, oriunda do estado de São Paulo.

Avalia-se que o uso inadequado, e muitas vezes excessivo, de agrotóxicos e fertilizantes minerais solúveis, seja uma das causas da qualidade aquém da desejada das flores de corte de Nova Friburgo. Isto, aliado a ocorrência de processos erosivos dos solos, podem ser apontados como fatores limitantes importantes para os cultivos de rosas e outras flores de corte neste município. Exemplo disto é a experiência já desenvolvida na região pela equipe técnica da Embrapa, onde através de procedimentos de campo para a racionalização de uso de fertilizantes nitrogenados e seus impactos na qualidade das hastes de rosas, pode-se verificar que apenas o uso de misturas de pó de rocha aliado à uréia, fez com que a quantidade de fertilizante aplicado pudesse ser diminuída em 50% em relação à dose antes usada pelos agricultores.

No que se refere à produção orgânica na Região Serrana, esta aparece no Estado do Rio de Janeiro como principal pólo produtor e irradiador para outras regiões, face o seu pionerismo nesta área citado anteriormente. Este fato favoreceu em grande medida uma maior aproximação destes agricultores com pesquisadores de diferentes instituições que se dedicavam a uma pesquisa por uma agricultura com baixo uso de insumos externos à unidade de produção agrícola (FRADE, 2000), favorecendo o debate, a troca de experiências e o fortalecimento de iniciativas em busca de uma agricultura de base agroecológica.

Destaca-se aqui, no município de Bom Jardim, a microbacia do Pito Aceso que foi uma das comunidades-pólo de atuação inicial da Rede Agroecologia Rio. Esta comunidade, caracterizada por agricultores tradicionais, *a priori* classificados como orgânicos, independente de certificação como tal, na medida que não utilizavam desde então insumos sintéticos. Os sistemas de produção predominantes, caracterizados a partir do Diagnóstico Rápido Participativo dos Agroecossistemas (DRPA), à época do primeiro projeto da Rede Agroecologia Rio, tinham como componente principal a utilização de queima para limpeza de terreno para novo cultivo agrícola, após período de pousio de 5 a 10 anos. Contudo, em razão da legislação ambiental, os agricultores estavam com dificuldade para continuidade desta prática, já que se deixassem mais de 5 anos, que é o tempo mínimo que, há mais de 100 anos demonstram ser necessário para recuperar a qualidade do solo para cultivo, as árvores nativas atingiriam diâmetros que a legislação não permite o corte. Em razão disso, alguns trabalhos buscando alternativas foram realizados, com destaque para o pousio qualificado, utilizando leguminosas arbustivas de rápido crescimento (exóticas e nativas), visando reduzir o tempo de corte das árvores e atingir melhoria na qualidade do solo, para novos cultivos, e assim não ter problemas com a legislação (Figura 4).



Figura 4. Agricultura itinerante em Bom Jardim, RJ.

Embora considerando que trabalhos de pesquisa conduzidos em condições de campo já tenham evidenciado os benefícios do uso de plantas de cobertura e da adubação verde para a produção vegetal, numa outra experiência, na comunidade dos Albertos, no município de Petrópolis, tem-se procurado entender quais as potencialidades e dificuldades para adoção em unidades de produção de base familiar, mesmo aquelas envolvidas com o manejo orgânico.

A abordagem do trabalho buscou valorizar, além de aspectos relacionados ao uso de plantas de cobertura e do plantio direto de hortaliças, em substituição ao preparo mecanizado do solo, a adubação verde, inoculação de bactérias fixadoras de N_2 nas sementes de leguminosas, consórcios, sucessões culturais e a introdução de uma variedade de feijão-de-vagem de porte determinado e ciclo curto (cv. Alessa).

Do ponto de vista pedagógico, a experiência relatada possibilitou demonstrar, didaticamente, que o preparo mecanizado contínuo do solo não é a única opção de manejo do terreno que confere altos rendimentos produtivos de hortaliças. Isto estimulou a reflexão dos agricultores sobre a necessidade de evolução na transição agroecológica das unidades de produção.

Destaca-se também o papel da introdução de plantas de cobertura com vistas ao favorecimento de distintos processos ecológicos, possibilitando que os sistemas de produção orgânica possam ser entendidos como algo além de uma simples substituição de insumos. O caráter multifuncional dessa prática possibilitou aos agricultores e pesquisadores perceberem os benefícios decorrentes da presença das plantas de cobertura sobre características tão distintas quanto: a proteção do solo, produção *in situ* de matéria orgânica, controle de ervas espontâneas, redução da incidência de doenças de solo e, até mesmo, potencial para ganhos de produtividade de suas lavouras (GUERRA et al., 2007).

As ações desenvolvidas na comunidade dos Albertos, em Petrópolis (Figura 5), e na microbacia do Pito Aceso, em Bom Jardim, possibilitaram a construção de novos conhecimentos, agregando as experiências prática e acadêmica, respectivamente, dos agricultores e pesquisadores. Ao longo dessa trajetória, buscou-se aprofundar a transição agroecológica de sistemas de produção orgânica com a incorporação de novas práticas de manejo que otimizassem os processos ecológicos e que favorecessem o desempenho produtivo e econômico das unidades agrícolas. De maneira geral, os conceitos trabalhados foram bem recebidos pelos agricultores, que adaptaram algumas das práticas avaliadas para a sua realidade.



Figura 5. Agricultura orgânica em Petrópolis, RJ.

Todavia, segundo Guerra et al. (2007), algumas dificuldades foram identificadas. Destaca-se a limitada disseminação das experiências realizadas junto a outros agricultores, em parte decorrente da reduzida experiência do grupo de pesquisadores com a utilização de métodos construtivistas. Isto associado à dificuldade de conciliação do tempo disponível de pesquisadores e agricultores. Há que registrar ainda a falta de tradição associativa dos agricultores, restrita, no caso dos agricultores orgânicos certificados da comunidade dos Albertos, a algumas ações colaborativas no que concerne à comercialização.

Por outro lado, os mesmos autores acrescentam que, a partir da realização desses trabalhos, tornou-se possível debater conceitos de conservação de solo junto aos agricultores, disponibilizando aos mesmos novas opções de manejo que favoreceram a introdução de práticas de caráter agroecológico. Deve-se considerar que, nesta região, concentra-se o principal núcleo de produção orgânica fluminense, e que este, historicamente, tem se apresentado como importante espaço para validação de alternativas tecnológicas para a conservação ambiental, bem como de exercício de novas formas de comercialização.

Em adendo, verifica-se, a partir destas experiências, que a oportunidade de conduzir ações participativas estimulam a sensibilidade dos pesquisadores no sentido de buscar soluções locais para superar as dificuldades encontradas pelos agricultores na incorporação de conceitos e técnicas. Uma vez que estas irão potencializar processos ecológicos na gestão espaço-temporal de unidades de produção de base familiar.

Entende-se, portanto, que propostas tecnológicas com base na agroecologia, aliadas a aportes metodológicos participativos, que favoreçam a interação entre pesquisadores e agricultores, têm potencial de contribuir para reverter o quadro de riscos ambientais e econômicos da agricultura familiar da Região Serrana Fluminense, além de diversificar a produção e, conseqüentemente, as fontes de renda dos produtores.

Comentário final

A proposta de aproximação da estrutura de pesquisa da

Embrapa das áreas de produção, a exemplo do NPTA, tem um caráter inovador na estrutura da empresa. Apresenta alguns desafios passíveis de serem superados no que se refere à logística administrativa e de infraestrutura, ao mesmo tempo que representa promissora experiência no sentido de potencializar a articulação da pesquisa agrícola do setor produtivo.

Historicamente, analisando-se a trajetória de implantação da Embrapa, verifica-se em seu momento inicial, que a proposta foi de locar suas unidades de pesquisa próximo às áreas de produção. Sem aprofundar nesta análise, percebe-se uma tendência mais recente de aproximação da Embrapa de grandes centros urbanos, com destaque para proximidade junto às Universidades. Isto ocorre muito devido às dificuldades de manutenção de quadros técnicos em locais com poucos atrativos ao desenvolvimento profissional e pessoal destes.

Neste sentido, a experiência do NPTA apresenta caráter inovador ao aproximar os poderes públicos municipal e federal na busca de soluções tecnológicas que contribuam para o desenvolvimento rural regional sustentável, sem a necessidade de manutenção de pesada estrutura administrativa de pesquisa, ao mesmo tempo que potencializa a articulação da pesquisa com as demandas concretas dos agricultores, sem desprender esta do ambiente acadêmico.

Referências bibliográficas

ALTIERI, M. A. **Agroecologia**: as bases científicas da agricultura alternativa. Rio de Janeiro: PTA: FASE, 1989, 237 p.

ASSIS, R. L. de. **Agroecologia no Brasil**: análise do processo de difusão e perspectivas. 2002. 150 f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

ASSIS, R. L. de; ROMEIRO, A. R. Agroecologia e agricultura familiar na região centro-sul do estado do Paraná. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 43, n.1, p.155-177, 2005.

CANUTO, J. C. **Agricultura ecológica en Brasil**: perspectivas

socioecológicas. 1998 200 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Ingenieros Agrónomos y Montes, Instituto de Sociología y Estudios Campesinos, Córdoba.

CASTRO, J. S. M. **Prática do uso de agrotóxicos no município de Cachoeiras de Macacu. 1999.** Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Universidade Federal Fluminense, Niteroi.

FEIDEN, A.; ALMEIDA, D. L. de; VITOI, V.; ASSIS, R. L. de. Processo de conversão de sistemas de produção convencionais para sistemas de produção orgânicos. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v.19, n.2, p.179-204, 2002.

FRADE, C. O. **A Construção de um espaço para pensar e praticar a agroecologia na UFRRJ e seus arredores. 2000.** 170 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

FRIEDRICH, K.; GOHL, B.; SINGOGO, L.; NORMAN, D. **Desenvolvimento de sistemas agrícolas: uma abordagem participativa da assistência a pequenos agricultores.** Rio de Janeiro: AS-PTA, 1995, 36 p. (Agricultores na Pesquisa, 6).

GERENCIAMENTO de ecossistemas: desenvolvimento sustentável das montanhas. In: Documento agenda 21. Rio de Janeiro: CNUMAD; Brasília: MMA, 1992. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/agenda21/_arquivos/cap13.pdf>. Acesso em: 19 mai. 2010.

GUANZIROLI, C.; ROMEIRO, A.; BUAINAIN, A. M.; DI SABBATO, A.; BITTENCOURT, G. **Agricultura familiar e reforma agrária no século XXI.** Rio de Janeiro: Garamond, 2001.

GUERRA, J. G. M.; NDIAYE, A.; ASSIS, R. L. de; ESPINDOLA, J. A. A. Plantas de cobertura como instrumento para a valorização de processos ecológicos em sistemas orgânicos de produção na região serrana fluminense. **Agriculturas**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 1, p.24-28, 2007.

HASSE, I. **Quantificação de plasmodiofora brassicae e uso de plantas medicinais para controle da doença**. 2005. 96 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

IBGE. **Censo demográfico 2000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2000. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/censo/divulgacao_impreso.shtml>. Acesso em: 10 mai. 2010.

INCRA. **Novo retrato da agricultura familiar: o Brasil redescoberto**. Disponível em: <<http://200.252.80.30/sade/>>. Acesso em: 17 ago. 2007.

LACKI, P. **Desenvolvimento agropecuário: da dependência ao protagonismo do agricultor**. Santiago: FAO, 1995. 15 p.

LIMA, M. L. R. Z. C.; MAY, L. L.; LOLIS, R. Controle físico e biológico da hérnia das crucíferas (*Plasmodiophora brassicae* Woron) na região metropolitana de Curitiba-PR. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 16, n. 1, p. 83-87, 1997.

MAY, L. L.; SILVA, J.; LIMA, M. L. R. Z. C. Avaliação de diferentes formas de controle de *Plasmodiophora brassicae* em couve-chinesa em condições de casa de vegetação. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 16, n. 1, p. 9-14, 1997.

PERES, F. **É veneno ou é remédio?: os desafios da comunicação rural sobre agrotóxicos**. 1999. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Fundação Instituto Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro.

PETERSEN, P. **Pesquisa participativa: um conceito em evolução**. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE AGRICULTURA SUSTENTÁVEL EM REGIÕES TROPICAIS E SUBTROPICAIS. 1998, Rio de Janeiro. [Textos...]. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1998. 7 p. Mimeo.

PETERSEN, P.; SILVEIRA, L. Desafios teórico-metodológicos na pesquisa

em agroecologia, In: ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL SUSTENTÁVEL. 1., 2001, Botucatu, **[Anais...]** Botucatu: UNESP, 2001, 12 p.

PREFEITURA MUNICIPAL DE NOVA FRIBURGO. Secretaria Mnicipal de Agricultura. **Cadastro Geral de Produtor Rural**. Nova Friburgo: PMNF, 2004. 26 p. Mimeo.

Selmo de Oliveira Santos

Introdução

Situado no centro do Estado do Rio de Janeiro, na Região Serrana, o município de Nova Friburgo possui uma altitude média de 850 m e tem cerca de 950 km², distribuídos em 8 distritos e cerca de 118 localidades rurais. O clima é tropical de altitude com chuvas acima de 1.800 mm, distribuídas normalmente entre os meses de setembro a maio, sendo de meados de maio a agosto um período seco. As temperaturas médias ficam em torno de 18°C, sendo a média de verão 24°C e de inverno em torno de 13°C. O solo caracteriza-se como Latossolo amarelo em sua maioria, com boa aptidão nas áreas de baixada, sendo que as encostas também são comumente exploradas para o cultivo de olerícolas. Nova Friburgo possui ainda 65% de seu território coberto pela Mata Atlântica, sendo a segunda maior área contínua do Estado. Uma porção do território municipal integra o Parque Estadual dos Três Picos, além de possuir três APAs - Áreas de Proteção Ambiental. A população estimada é de 180 mil pessoas com densidade de 182 hab./km², tendo 85% nas áreas urbanas e 15% nas rurais.

Neste cenário, 2.484 produtores rurais desenvolvem em 1.268 propriedades produtivas as seguintes culturas mais importantes, conforme Figura 1.

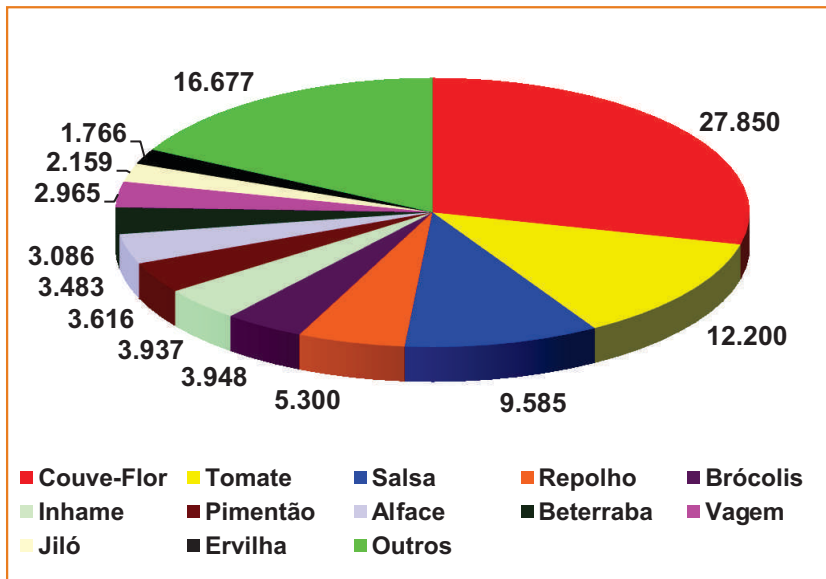


Figura 1. Produção anual de olericultura e grãos nas propriedades rurais cadastradas no município de Nova Friburgo, RJ - 2002/2003.
 Fonte: PMNF-RJ – Prefeitura Municipal Nova Friburgo (2004).

Com esta imensa produção de alimentos torna-se da maior responsabilidade a manutenção do processo de estruturação agrária em Nova Friburgo – RJ. Desenvolver uma atividade agrícola tão expressiva dentro de uma área de Mata Atlântica demanda fortes conceitos de desenvolvimento sustentável, que estão sendo discutidos junto ao agricultor familiar, aumentando sua percepção para a proteção ambiental e o conceito do uso social da terra.

O associativismo como base do processo de desenvolvimento sustentável

A grande produção agrícola no município de Nova Friburgo impressiona não somente pelos mais de 120 itens cultivados, mas também pelos índices de produtividade relevantes. Os agricultores familiares dedicam todo o seu tempo entre o preparo da área, plantio, tratamentos culturais, colheita, embalamentos, caixaria, ensacamento, formação de empregados e outros, o transporte a fase e mais difícil, a comercialização. Em uma roda viva como esta, torna-se muito difícil ter

tempo, individualmente, para buscar resultados com políticas públicas, nas áreas de infraestrutura, saúde, educação, assistência técnica e lazer. A proposta associativista do Programa Associar é identificar latentes lideranças locais, ter a percepção das comunidades que possuem um perfil associativista e desenvolver coletivamente este aspecto relevante, criando mecanismos e instrumentos sociais para a cristalização destas tendências, democratizando o acesso à decisão. Neste cenário, o associativismo se apresenta como forma de desenvolvimento rural, onde, além da expressão das necessidades locais, permite a participação da comunidade, favorecendo o exercício da cidadania, estabelecendo metas coletivas e consolidando vocações para lideranças locais.

Situação do associativismo rural até o ano de 2000

Quando do levantamento em 2001 da chamada “Situação que Temos”, foi descortinado um clima de animosidade nos pequenos grupos que se formavam na agricultura familiar no município de Nova Friburgo. Havia um completo isolamento entre as seis associações existentes e seus presidentes encontravam dificuldade em manter as suas entidades, e dominava o ceticismo quanto às ações do poder público local para suas comunidades, a ponto de o então Conselho Rural, criado no ano de 1997, pela Lei Municipal nº 2.911, não ter, inexplicavelmente, sequer realizado uma reunião até o ano de 2000. O Conselho era formado, na sua maioria, por membros indicados pelo poder público, resultando na perda, pelo município, de recursos do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar – PRONAF Infraestrutura na ordem de R\$ 600.000,00 e na impossibilidade de participação majoritária da sociedade rural organizada. Os presidentes das Associações Rurais existentes, embora enfrentassem as mesmas dificuldades, sequer se conheciam ou tinham qualquer tipo de contato, mesmo frequentando os mesmos locais, como feiras, CEASA, lojas de vendas de produtos agropecuários, dias de campo e outros.

Existiam, ainda, casos de comunidades cujas associações eram rivais. Como o da pequena comunidade de Vargem Alta, onde havia duas associações e a rivalidade era extremamente exacerbada por interesses

políticos e pessoais. As seis associações existiam no município, mas a cultura associativista não era praticada, não existindo um tecido social que permeasse ações comuns. A comunidade agrícola do município nunca sentava à mesa de negociações com o Poder Público para externar suas demandas, embora o segmento contribuísse de forma significativa para o desenvolvimento do município, até porque não existiam dados quantitativos sobre o quê se produzia, nem sobre quem produzia.

Um entendimento sobre o significado de agricultura familiar era ausente, bem como sobre as suas mais variadas formas de se relacionar com o mundo e a natureza, além do plantar, colher e do aspecto meramente econômico da atividade agrícola.

Ações iniciais do Programa Associar

No ano de 2001 foi organizada uma reunião para uma apresentação do Programa Associar aos presidentes das 06 associações. Os dirigentes tiveram a oportunidade de se conhecerem e mostraram-se desconfiados e céticos quanto ao Programa, mas perceberam que se tratava de algo diferente. Convencer dirigentes rurais isolados e desarticulados que as ações da Secretaria Municipal de Agricultura viriam de demandas oriundas das associações de produtores, era uma tarefa difícil, tão grande era o enfraquecimento das associações. Algumas reuniões do Programa se sucederam e foi proposta a instalação do Conselho Rural já que o mesmo existia, mas sequer tinha membros nomeados.

O objetivo inicial do Programa era identificar e promover multiplicadores para a nova forma de gestão pública na área rural, onde a participação da comunidade era fundamental. Após a apresentação do Programa para os dirigentes rurais, o mesmo foi feito nas comunidades, o que já foi um acontecimento inédito. A participação de gestores públicos em reunião de associação não era coisa costumeira.

As primeiras tímidas demandas foram apontadas em reuniões com pouco mais de 10 pessoas presentes, muitas vezes parentes bem próximos ao Presidente, onde a desmobilização era visível. Após as reuniões realizadas nas seis associações existentes na época, apenas 12 demandas foram apontadas. O Programa Associar era apresentado nas

comunidades ao mesmo tempo que era feita a identificação dos membros do Conselho Rural, visando empossá-los o mais breve possível, até porque seria importante a validação das propostas oriundas dos agricultores familiares das diferentes associações em um órgão oficial.

Ainda no ano de 2001, em um clima muito festivo e de muita esperança, foi dado um grande passo em direção ao desenvolvimento sustentável: a primeira posse dos membros do CMDR – Conselho Municipal de Desenvolvimento Rural, 3 anos após ter sido criado.

A partir de então estava disponível a ferramenta indispensável para inserção de uma das maiores vertentes econômicas do município na mesa de discussão das políticas públicas locais, ampliando na prática o horizonte de percepção do agricultor familiar, que, além da atividade meramente mercantil da agricultura, poderia alcançar, junto com sua família, a complexa relação com a natureza e o desenvolvimento sustentável.

O Programa Associar plenamente estabelecido e consolidado

Decorridos 7 anos de sua implantação, O PROGRAMA ASSOCIAR colhe frutos em abundância em todo o município. O Conselho Rural hoje se denomina CMDRS – Conselho Municipal de Desenvolvimento Rural Sustentável e está em sua 37ª Reunião. A sociedade civil organizada hoje tem maior número de representantes do que o Poder Público. Isso favoreceu a compra, pelo Banco da Terra, da Fazenda Rio Grande por 47 agricultores familiares, através do sistema do Crédito Fundiário.

As seis associações iniciais permanecem fortalecidas, com reuniões ordinárias e concorridas, mas agora em companhia de mais 25, totalizando 31 Associações de Pequenos Produtores Rurais no município. As demandas das comunidades são encaminhadas pelas suas Associações para a Secretaria Municipal de Agricultura e são sempre avaliadas nas reuniões do CMDRS.

Dentre as 25 Associações formadas pelo PROGRAMA ASSOCIAR cada uma delas produziu ações contundentes para o desenvolvimento sustentável no município. No caso da Associação de Produtores de Morango, o grupo se organizou com diversas parcerias e

realizou missões técnicas por vários estados brasileiros, introduzindo 6 novas variedades de cultivo. Há mais de 30 anos só conheciam uma variedade (Dover) e trouxeram novas tecnologias que aumentaram a produtividade, como o uso do cultivo protegido, reduzindo em 80% o uso de agrotóxicos, aumentando a renda familiar e entregando um produto com mais sanidade no mercado.

Da união das duas Associações de Produtores Rurais de Vargem Alta, que antes se rivalizavam, foi formada uma única, unida e concorrida associação, denominada FLORALTA. A grande frequência de associados foi determinante para a chegada na localidade da primeira escola de formação em floricultura do nível fundamental e para o asfaltamento de 6,5 km da estrada que escoar 70% das flores produzidas no Estado do Rio e que faz com que o município seja o segundo maior produtor de flor de corte do país. O município hoje realiza, com a FLORALTA, a Festa da Flor que está em sua 8ª edição. Já existem discussões avançadas, inclusive com capacitação de técnicos, para transformar a FLORALTA em uma cooperativa.

A APROSACE - Associação de Agricultores Familiares de Santa Cruz e Centenário hoje possui sede própria e, em uma reunião específica, cedeu parte de sua área para instalação do NPTA - Núcleo de Pesquisa e Treinamento para Agricultores, onde pôde se estabelecer um posto avançado da Embrapa, empresa estatal de pesquisa agropecuária, de excelência reconhecida mundialmente. Este esforço coletivo da prática associativista, promovido pelo Programa Associar, possibilitou que uma empresa deste porte se instalasse em um dos maiores bolsões de cultivo de olericultura da América do Sul, com uma inovadora proposta de pesquisa participativa.

Com a consolidação do Programa Associar veio a credibilidade do poder público municipal e, assim, a Secretaria de Agricultura já pôde implantar sete novos programas municipais que estão em pleno funcionamento, conforme listados a seguir.

Programa de Cadastro Geral de Produtor Rural

O Cadastro Geral de Produtor Rural (CGPR), teve por objetivo traçar um perfil das propriedades produtivas do município de Nova Friburgo, buscando informações sobre a localização das mesmas;

titularidade; posse e uso da terra; tecnologias utilizadas; escolaridade; sexo; grau de associativismo; tamanho, altitude, longitude, latitude por (*Global Positioning System*) e especificidades de produção. É o único implantado em todo Estado e sistematicamente atualizado.

Programa ESCOAR

É o Programa Municipal de Apoio ao Escoamento da Produção Agrícola. Cerca de 800 km de estradas são cuidadas todos os anos, para garantir o escoamento da produção. Há relatos em todos distritos do município que se perdia em torno de 20% da produção agrícola por falta de condições de tráfego nas estradas vicinais. Não há relato nos últimos anos em nenhuma das 31 Associações de produtores rurais que isto tenha acontecido novamente, evitando um prejuízo de mais de R\$ 40.000.000,00.

Programa PRÓ-ORGÂNICO

É o Programa Municipal de Apoio à Agricultura Orgânica que permite ao produtor rural fazer a migração gradativa do cultivo convencional para o cultivo orgânico. Embora apenas 5% da produção do município seja orgânica, com a chegada da EMBRAPA, em especial do NPTA, espera-se que esta modalidade avance em todos os distritos. Em Nova Friburgo, foi criada a ABIO, a primeira certificadora brasileira para produtos orgânicos.

Programa PRÓ-RURAL

É o Programa Municipal de Socialização Rural. Realiza-se o Cadastro de Produtor Rural; faz-se a DECLAN - Declaração Anual de Produção Agrícola, orienta-se o produtor a respeito de posse e título da terra com informações e normas sobre o ITR- Imposto Territorial Rural, enquadramento de propriedade dentro dos critérios do INCRA- Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária e também agiliza-se a documentação para aposentadoria rural e benefícios sociais em geral.

Projeto FRUTIFICANDO

É o Programa Municipal de Apoio à Fruticultura, inicialmente para as culturas de morango, caqui e goiaba.

Diversas excursões foram realizadas nos Estados de Minas Gerais, Espírito Santo, Paraná, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, levando produtores rurais para observar diferenciados cultivos e introduzir novas tecnologias no município. No caso do cultivo de morangos, grande parte do cultivo agora é feito em estufins, sendo a primeira experiência no Estado do Rio de Janeiro, trazendo novas variedades e a redução de até 80% no uso de agrotóxicos.

Festa da Flor

Criada em 2001, a Festa da Flor é o único evento da floricultura na região. Possui uma visitação média 50 mil pessoas por edição e todos visitantes podem observar, pela exposição de legumes, hortaliças flores e frutas, a força da agricultura familiar local. A Festa da Flor hoje é o maior evento da floricultura no Estado.

Programa Meu Talão

É um Programa de Apoio à Arrecadação Municipal que dá condições ao produtor rural ter o seu próprio talão. Há cerca de três anos a Secretaria de Agricultura doou os dois primeiros talões aos produtores rurais que desejavam ter o seu próprio talão. Até o ano de 2001 cerca de 90% da produção agrícola do município não era declarada, prejudicando consideravelmente os repasses de ICMS. Com a participação das associações de produtores rurais incentivando seus associados a tirarem a nota fiscal de seus produtos, no último levantamento da Secretaria Municipal de Agricultura este número chegou a 30% em 2007.

Desafios do Programa Associar

Com produtividades excelentes nas pequenas propriedades rurais e fazendo uso de tecnologias busca-se reverter a degradação

ambiental, notadamente da água e do solo, já que práticas antigas contribuíram para taxas de erosão preocupantes no município. Existe hoje um ambiente favorável, face a cultura associativista, para reversão deste quadro, com o uso racional e o manejo do solo, com o resgate de uma sistemática de práticas agroecológicas e do cultivo tradicional com aporte de bases científicas. Tudo isto para que se promova seres humanos desenvolvidos e conscientes, sabedores de que a terra é um bem que não existe apenas para a apropriação extrativista e que entenda que não haverá vida no planeta sem um solo fértil e água para todos.

Com o município agora completamente integrado e com um grau de socialização rural desenvolvido e uma instrumentação institucional com credibilidade coletiva, os rumos do associativismo em Nova Friburgo – RJ deve seguir os seus passos dentro do princípio da sustentabilidade a que se propôs originariamente o PROGRAMA ASSOCIAR e que neste cenário de grandes desafios se apresenta como um instrumento do bem.

Referências bibliográficas

PREFEITURA MUNICIPAL DE NOVA FRIBURGO. SECRETARIA MUNICIPAL DE AGRICULTURA. **CGPR - Cadastro Geral de Produtor Rural**. Nova Friburgo: PMNF, 2004. 26 p. Mimeo.

*Átila Torres Calvente
Leonardo Ciuffo Faver*

Introdução

Este capítulo procura descrever o processo de concepção, organização e implementação de políticas públicas para o desenvolvimento do setor agropecuário, do município de Petrópolis, no Estado do Rio de Janeiro, no período 2006/2008. O foco do trabalho foi direcionado para estimular o crescimento da produção, da renda e de formas de difusão de práticas agrícolas mais responsáveis ou equilibradas que pudessem ser assimiladas pelo agricultor. Assim como para abrir maiores perspectivas para o desenvolvimento da agricultura orgânica e/ou dos sistemas agroecológicos e contribuir para a modernização de canais de comercialização. Pode-se dizer que as ações delineadas têm em vista diversos objetivos e como prioridade uma orientação para a ampliação da qualidade de vida e dos horizontes das famílias do homem do campo. Ao lançar a proposta de políticas públicas para o setor rural nesta região foi preciso acreditar nos benefícios do planejamento e estar disposto à, superar os conflitos, coordenar esforços físicos, econômicos e sociais.

Inicialmente, buscou-se incorporar, discutir e difundir, junto ao governo municipal e aos diversos segmentos da população local, idéias consideradas fundamentais ao desenvolvimento humano, à preservação do meio ambiente, à recuperação de passivos ambientais e à preservação dos recursos hídricos.

Procurou-se ressaltar neste capítulo alguns projetos de suporte ao desenvolvimento do setor agropecuário do município de Petrópolis, contribuindo também para a formação e a consolidação, em

mais de trinta escolas públicas deste município (num total de cento e trinta e cinco), para uma maior consciência sobre valores de respeito ao meio ambiente local, para uma postura mais pró-ativa e produtiva na vida pessoal, para o incentivo às práticas agrícolas mais sustentáveis e/ou orgânicas, para o estímulo à implantação e manutenção de ações de educação ecológica, de hortas orgânicas e da agricultura urbana; ressaltando a importância de uma visão mais abrangente sobre a vida e de uma alimentação/nutrição saudável.

O ponto de partida para a definição de prioridades necessárias à implementação de políticas públicas consistentes, envolve em primeiro lugar, uma tomada de consciência sobre a relação entre alguns problemas existentes em todos os municípios de médio porte no Brasil. Como exemplo pode-se citar fatores responsáveis por vinte por cento da população do Brasil apresentarem estado de muita pobreza e/ou risco social e outros quarenta por cento serem classificados como de baixa renda: (a) grandes desigualdades sociais e econômicas; (b) meio ambiente poluído, degradado ou esgarçado nas periferias urbanas e rurais; (c) práticas agrícolas insustentáveis em médio e longo prazo; (d) crescente erosão e degradação dos solos; (e) crescente desmatamento e poluição dos entornos de nascentes, córregos e rios; e (f) informalidade, desemprego estrutural ou quase crônico (GOULET, 1999; ARBIX; ZILVOVICIUS; ABRAMOVAY, 2001).

No município de Petrópolis verificou-se que as pessoas do campo precisam de muito apoio, pois produzem com dificuldade o alimento para o homem urbano. ARBIX; ZILVOVICIUS; ABRAMOVAY (2001) mencionam que "devem ser pensadas formas de reduzir a crescente insegurança que afeta a vida das pessoas, resultante de uma combinação de desemprego, condições precárias de trabalho, pobreza, desigualdade, marginalização e exclusão, com a redução dos gastos públicos em serviços sociais". Jean Paul Sartre também diz que - "o desenvolvimento repousa, em grande medida, na capacidade cultural das pessoas de inventarem seu próprio futuro". Essa vertente de pensamento desafia o poder de reflexão e a criatividade, para transposição para um processo de desenvolvimento mais autêntico e de uma teoria mais pluralista e independente, que leve a uma prática que contribua para o desenvolvimento substancial (SÖDERBAUM, 2000).

É preciso produzir e melhor distribuir a riqueza preservando

os recursos naturais para as futuras gerações. Por isso pode-se observar no presente trabalho uma forte orientação no sentido da preservação da vida, da busca de uma educação de qualidade para as crianças, do manejo dos solos, da conservação dos recursos hídricos e da biodiversidade local. As diferenças entre políticas de crescimento econômico das de desenvolvimento humano, norteiam as propostas da presente iniciativa.

No âmbito local, observa-se que grande parte da população ainda não está preparada e não possui os meios para enfrentar as consequências da diversificação, da velocidade e da dimensão das atividades produtivas, do pensamento utilitarista, da difusão das crenças consumistas, do volume de lixo decorrente dos padrões e estilos de consumo, das taxas de conversão ambiental e do aumento rápido da população humana, nos últimos duzentos anos. Este fato tem contribuído, simultaneamente, para a acelerada perda de biodiversidade no Brasil e mundialmente (SWANSON, 1998; MOL e SONNENFELD, 2000). Percebe-se assim que é preciso fazer algo além dos estudos que identificam a crise ambiental como consequência da crise econômica, de uma forma bem objetiva: *"the crisis of the environment is basically an economic problem. This is more or less openly confirmed by the analyses on the subject, drawn up with growing frequency by the United Nations, the World bank, the WWF and international scientific conferences"* (RAVAIOLI, 1995).

Pela natureza desse trabalho e pelas dificuldades e obstáculos enfrentados para realizá-lo, os autores fazem um balanço quase otimista das possibilidades de expansão do nível de consciência da população local, de famílias de agricultores, de feirantes, de professores e de alunos das escolas públicas do ensino fundamental, sobre os princípios da irreversibilidade, da precaução e do conflito intergeracional. Não se pode mais pensar exclusivamente em produção, produtivismo, produtividade, mercado e lucro, na utilização constante de defensivos agrícolas de forma inadequada e desperdício hídrico. Por isso, sempre é lembrado, nos encontros com essas comunidades, que o total de espécies biológicas existentes não pode ainda ser estimado de forma correta, mas estamos dentro de um processo de extinção em larga escala.

É importante considerar a grandeza da ação humana e dos

processos produtivos concentradores de capital e poder em escala global, que muitas vezes também limitam as iniciativas econômicas locais e promovem a degradação dos recursos naturais. Também é preciso lembrar da influência dos ritos religiosos, das crenças e da cultura que permeia e trespassa essa heterogeneidade estrutural, o jogo político e a influência da mídia nas estruturas familiares fragilizadas pela pobreza e ignorância, que por sua vez, também contribuem para a degradação ambiental (SINGER, 1994, MOL e SONNENFELD, 2000). Sabe-se que a questão é multidimensional e que no máximo se pode compreender fragmentos dessa realidade.

Referencial teórico e conceitos básicos

Markusen (1994) acredita que o governo deve ter um papel fundamental em fomentar as políticas de desenvolvimento, que sejam aplicadas e conduzidas de uma forma “*bottom-up*”, ou seja, “*local level policy*”, ou ainda, a produção local deve ser a base da produção econômica funcionando como âncora para o desenvolvimento de pólos de crescimento locais e regionais. Além da educação básica e infraestrutura, são necessárias ações pontuais e específicas para desencadear os processos de desenvolvimento. A participação do Estado é de suma importância para manter o equilíbrio e regular o mercado, com sua capacidade de influenciar e intervir sobre os agentes, direcionando o desenvolvimento.

Na era da globalização, está havendo uma predominância e uma maior concentração de esforços no desenvolvimento dos negócios de alta tecnologia que, na maioria das vezes, estão concentrados nas grandes metrópoles, pelas suas boas condições de infraestrutura. Essa política pode alimentar, ainda mais, a clássica forma de acumulação, concentração e centralização do capital, ao invés da descentralização do poder e riqueza. Os pólos já consolidados, por si só atraem novos empreendimentos.

Portanto, as políticas públicas devem buscar incentivar atividades que demonstrem boas perspectivas dentro das particularidades locais e que contribuam para a descentralização das atividades econômicas, bem como para a redução da concentração excessiva de capital nas áreas metropolitanas.

Políticas públicas

As políticas públicas, segundo Lourenço (2005) são produtos de um intrincado processo de pressões políticas exercidas por grupos da sociedade civil. O resultado prático desse processo constitui um conjunto de ações e atividades que acabam atendendo interesses específicos de grupos empresariais e segmentos sociais, bem representados, em detrimento dos interesses e necessidades da maioria da população, na contramão da democracia plena.

As políticas públicas em sua essência buscam amenizar e melhor equilibrar as externalidades produzidas pelo livre mercado e contribuir para a diminuição da assimetria informacional existente. O vazio informacional talvez seja a mais corrosiva das externalidades do mercado, pois impede que este opere perfeitamente. Na grande maioria dos casos o instrumento utilizado como base da política tem se pautado em sistemas, regulamentações ou comando e controle (STERNER, 2003). Em Petrópolis tem-se como exemplos de externalidades os efeitos negativos dos sistemas produtivos e as formas de consumo, erosão de solos, contaminação das águas, práticas agrícolas não sustentáveis entre outras. É função dos governantes utilizarem os instrumentos políticos para influenciar a direção da economia na busca da maximização do bem-estar social.

Segundo North (2002) apud Silva (2005), o maior papel das instituições dentro da sociedade é reduzir as incertezas, estabelecendo uma estrutura que permita as interações humanas, ou seja, deve-se criar uma atmosfera propícia às interações entre os atores da sociedade.

Arranjos produtivos locais

As políticas públicas com base na teoria dos Arranjos Produtivos Locais (APL's) podem colaborar com a promoção e o desenvolvimento local. Os seus conceitos e idéias podem aumentar a eficiência dos processos existentes e contribuir com novos processos que as interações constroem. Os APL's são aglomerações territoriais de agentes econômicos, políticos e sociais, com atividades econômicas relacionadas e que apresentam algum tipo de vínculo. Busca o

aproveitamento das sinergias coletivas, fortalece as chances de sobrevivência e crescimento, constituindo importante fonte geradora de vantagens competitivas e duradouras e também os processos de aprendizagem coletiva (CASSIOLATO; LASTRES; SZAPIRO, 2000).

Para Porter (1998), os APL's são companhias interconectadas e geograficamente concentradas de determinado segmento, incluindo fornecedores de insumos, componentes, máquinas, serviços, fornecedores de infra-estrutura e também instituições governamentais e outras associações de negócios, que fomentam treinamento especializado, educação, informação, pesquisa e suporte técnico.

Independente da definição, o importante “é reconhecer que a base de competitividade das empresas, em qualquer arranjo produtivo, não se restringe a um setor único, estando fortemente associada às atividades e às capacitações nos diferentes níveis e continuamente da cadeia de produção. Incluem design, controle de qualidade e atividades relativas a marketing e à comercialização, além de uma série de atividades ligadas à geração, aquisição e difusão de conhecimentos” (CASSIOLATO; LASTRES; MACIEL, 2003).

Os arranjos favorecem o desenvolvimento e o aperfeiçoamento das pequenas e médias empresas, possibilitando que as mesmas participem do mercado, mesmo competindo com empresas de maior porte, desde que funcionem de forma complementar e, conseqüentemente, vençam as desvantagens de ser pequeno.

Os APL's promovem as habilidades dos trabalhadores e atraem compradores, ampliam e criam ligações entre as empresas dentro dos arranjos, promovem intensa troca de informações entre os atores envolvidos, favorecem a existência de infraestrutura de suporte e consolidam uma identidade sociocultural. Por exemplo, a produção de hortigranjeiros e em especial a produção orgânica, em grande maioria, se concentra no mercado local e opera como um arranjo de sobrevivência de micro e pequena empresa, conforme características descritas na classificação feita por Alterburg (1999).

Capital social

Um outro conceito fundamental é o de capital social. Putnam (2000) comprovou que as regiões economicamente mais adiantadas

possuem governos regionais mais eficientes, simplesmente por haver uma maior participação cívica. Além disto, os cidadãos procedem corretamente, uns com os outros, com maior honestidade, confiança e observância da lei, na esperança de receber em troca o mesmo tratamento.

O principal pré-requisito para a criação e desenvolvimento de capital social é a confiança. Esta é fundamental para o desenvolvimento econômico, para os acordos organizacionais, para balizar os governos, entre outros. Ela não é estática e imutável, e pode ser criada e destruída ao longo do tempo. Segundo Locke (1999)²², na maioria das vezes, ela pode ser desenvolvida através de processos seqüenciais que englobem ações com interesses pessoais, políticas governamentais e através de instituições com mecanismos de autogestão. A confiança também é um atributo pessoal e, em grande parte, é observada entre pessoas que se conhecem há mais tempo, que se parecem ou mesmo que possuem boa reputação. De uma maneira geral, tem início através de interesses comuns.

Capital social pode viabilizar projetos que economicamente seriam inviáveis em outro lugar, em razão das possíveis externalidades, provenientes da sociedade local (SILVA, 2005). Criar e desenvolver capital social não são tarefas fáceis, mas é fundamental para o desenvolvimento das regiões e locais. A mudança de identidades, valores, poderes e estratégias não ocorrem instantaneamente.

Mobilização popular e planejamento participativo

Parece ser correto afirmar que nosso país precisa diminuir as suas acentuadas disparidades regionais e sociais e reverter seu processo de extrema concentração de renda, recuperando para o mercado interno o centro dinâmico da sua economia. Diversos autores, como Celso Furtado, acreditam que para reverter esse processo "seria necessária uma grande mobilização nacional" (FURTADO apud ARBIX; ZILVOVICIUS; ABRAMOVAY, 2001). Mas como empreender essa grande mobilização nacional? Até hoje no Brasil, o povo ficou substancialmente alienado do processo construtivo do seu próprio destino. Nas décadas recentes este fato ocorreu por causa do regime de ditadura, imposto

²² LOCKE, R. M. Building trust. Massachusetts: Institute of Technology, 1999. Manuscrito não publicado.

pela força militar, e na atualidade pela ditadura de mercado e pelas práticas e políticas populistas que mantém a população ignorante.

Nos projetos nacionais de desenvolvimento, que visam maior autonomia da população e a liberdade humana, políticas para arranjos produtivos voltados para a desconcentração econômica e/ou programas de combate ao desemprego estrutural, dependerão sempre de uma formação humana mais consistente e de arranjos institucionais ao nível local. Essa hipótese pode ser fortalecida pela grande necessidade de preparação da sociedade subdesenvolvida nas próximas décadas, em função de novas experiências no plano de evolução do conhecimento científico e material, bem como a possível crise ambiental global que deverá demandar a criatividade geral para novos estilos de produção e consumo (SEN, 1999; GOULET, 1999; CASTELLS, 1999; CASTEL, 1998; TACCONI, 2000; TOMASSELO, 2003).

São muitos os diagnósticos, os autores e as abordagens metodológicas sobre os crescentes desequilíbrios sociais, econômicos e ambientais, que revelam a natureza da inserção dos países subdesenvolvidos na economia global. Esta sofreu e vem sofrendo uma metamorfose, da quase antiga era fordista, para uma nova era informacional e pós-fordista, chamada por muitos de acumulação flexível de capital. São também muitas as disputas travadas no campo conceitual sobre a noção de desenvolvimento como processo de busca de liberdade e do bem-estar humano, dentro dessas estruturas (SEN, 1999; GOULET, 1999; CASTELLS, 1999; TACCONI, 2001). Estes autores acreditam que não serão as mesmas políticas de desenvolvimento industrial do século XX que promoverão o desenvolvimento do século XXI. Outras estratégias em planos ontológicos mais integrados precisam ser elaboradas para a redução da pobreza, da desigualdade e da degradação ambiental.

Educação e desenvolvimento humano

A questão educacional além de ser complexa e fundamental para a mudança das atitudes sociais é importante para a transformação das práticas agrícolas e a preservação dos recursos naturais. Numa democracia, o poder deveria ser distribuído proporcionalmente aos interesses que as pessoas tenham nos resultados para o benefício da

maior parte da população.

Estímulos adequados podem desenvolver nas crianças uma potência inata que pode ser ampliada e direcionada com influências diretas na criatividade e aprendizagem, no comportamento, na conduta, na formação de atitudes sociais, nas emoções individuais e coletivas, na formação de valores e nos sentimentos humanos. A criança passa a ter mais iniciativa e a empreender mais quando ela manipula a idéia com prazer e alegria interior. Para que isso aconteça, muitas coisas são necessárias, mas a principal delas é a construção de um ambiente com muita liberdade, serenidade e disciplina (Experiência pessoal dos autores em escolas públicas e hortas comunitárias em Petrópolis, 1998-2008).

Os sistemas agroecológicos não poderão se expandir enquanto não forem implementadas políticas públicas para a mudança das práticas agrícolas convencionais. É, portanto, essencial um processo de educação mais amplo no campo, próximo do agricultor, onde as idéias e o conhecimento sejam mais concebidos na prática do que percebidos na teoria (SPINOZA, 2000). Por isso há uma favorabilidade dos atores que atuam nesta questão, no município de Petrópolis, à implantação de núcleos de desenvolvimento e disseminação de técnicas agroecológicas, acoplados às escolas públicas do meio rural.

Do ponto de vista metodológico ações de preservação e manejo de solos e recursos hídricos dependerão da mudança de comportamento humano, como consequência da sensibilização obtida muitas vezes a partir do investimento na educação infantil e fundamental, prioritariamente.

Para mudarmos os atuais sistemas de produção predominantes em nossa sociedade é fundamental influenciarmos os produtores através da educação. Para Lacki (1996) uma das principais estratégias para a mudança de comportamento do produtor seria a capacitação dos membros da família rural, pois são estes os principais fatores de desenvolvimento, sendo a educação rural fundamental neste sentido. Através do fortalecimento das escolas primárias, introduzindo mudanças nos conteúdos de ensino, nos materiais didáticos, nos métodos pedagógicos e na formação/capacitação dos docentes, as crianças e os jovens, em pouco tempo, poderão assimilar o conteúdo e contribuir enormemente com uma nova forma de pensar e organizar a

unidade produtiva, planejar o processo produtivo e aperfeiçoar a comercialização.

Agroecologia e sustentabilidade local

Basicamente o desenvolvimento sustentável direciona o foco na questão de como produzir em detrimento da questão do que e para quem (SILVA e MENDES, 2005). Com base nesta premissa é que todos os esforços devem convergir.

De acordo com Furtado (1988) citado por Silva; Mendes (2005), o desenvolvimento não pode ser apenas econômico, mas deve abordar uma visão multidisciplinar. A Agricultura Orgânica dentro da Agroecologia tem como princípios básicos a menor dependência possível de insumos externos e a conservação dos recursos naturais. Para tal, ela maximiza a reciclagem de energia e nutrientes minimizando as perdas destes recursos durante os processos de produção. Trata-se de uma forma de agricultura que considera o agricultor o sujeito da ação e a razão do desenvolvimento. Promove o desenvolvimento auto-sustentável que privilegia os recursos naturais locais e preserva o meio ambiente, contribuindo para a qualidade de vida, a conquista da cidadania dos agricultores e suas famílias, e para uma sociedade democrática e humana.

Segundo Beus e Dunlap (1990) e Almeida (1998) a agroecologia aponta para uma ruptura com o paradigma do químico-moderno, imposto pela Revolução Verde, que privilegiou somente o aumento da produtividade agrícola como forma de avaliação de eficiência, não levando em conta o produtor rural e o meio ambiente. Esta ausência de consciência de sustentabilidade em seu aspecto mais amplo, ou seja, financeiro, social, ambiental e espacial, difundiu uma agricultura comercial extremamente especulativa onde as restrições ecológicas representavam custos insuportáveis. A Revolução Verde instalou um modelo industrial-produtivista de apropriação da natureza que acelerou, de forma alarmante, a degradação ambiental e social do espaço rural a ponto de se tornar insustentável.

Os princípios da produção industrial-produtivista se adaptam mais aos agricultores capitalistas, ou seja, àquelas propriedades onde as atividades são implementadas, principalmente, com força de

trabalho alheia (empregados assalariados), cabendo em geral ao proprietário dos meios de produção, somente as tarefas de direção e administração, do que os pequenos produtores também denominados agricultores familiares.

Uma outra definição para “agricultura sustentável” e adotada pelo *Technical Advisory Committee* (TAC), do *Consultative Group on International Agricultural Research* (CGIAR) é de York (1989) citado por Paterniani e Paterniani (2006) onde ele define da seguinte maneira:

“Agricultura sustentável consiste no manejo eficiente dos recursos para uma agricultura capaz de satisfazer as necessidades humanas atuais e futuras, mantendo ou aumentando a qualidade do ambiente e conservando os recursos naturais”.

Provavelmente, a agricultura sustentável concilie princípios e práticas da agricultura convencional (Revolução Verde) e outras práticas denominadas alternativas (PATERNIANI E PATERNIANI 2006).

A agricultura familiar é uma unidade onde a gestão, o trabalho e a propriedade dos principais meios de produção, mas não necessariamente da terra, pertencem ao produtor direto. Diversos impactos da produção agroecológica podem influenciar os pequenos agricultores familiares, dentre eles podemos citar: os produtos possuem melhores preços comparados aos convencionais e pode ser uma alternativa aos agricultores para melhorarem suas rendas; os custos de produção têm maiores valores em mão-de-obra e menores custos em insumos, quando comparados à agricultura convencional; apresenta um custo extra de certificação que aumenta o custo de produção, principalmente na fase de transição da agricultura convencional para a agroecológica e; tem efeito positivo sobre a saúde os trabalhadores rurais e em relação ao meio ambiente.

A agricultura familiar mostra-se também mais apta a incorporar os conceitos da agroecologia, adaptando-se melhor às propostas de desenvolvimento rural sustentável. Encontrra-se nela uma maior diversificação dos sistemas de produção com valorização do fator trabalho. Tem mais flexibilidade, uma maior cooperação entre os atores e menores riscos ambientais, quando comparada às empresas com visão capitalista. Também utilizam na sua cadeia pequenos

produtores e empresários, que para conseguirem melhores condições no mercado e se desenvolverem, se organizam melhor.

Projetos e atividades da Secretaria de Agricultura da Prefeitura Municipal de Petrópolis – 2006/2008

O município de Petrópolis, no Estado do Rio de Janeiro, ao longo dos últimos 15 anos não teve um setor público organizado e coordenado para o desenvolvimento do segmento agropecuário. Os assuntos relacionados a esta área ficavam a cargo de uma diretoria, ora ligada à Secretaria de Indústria e Comércio, ora à Secretaria de Planejamento e até mesmo à Secretaria de Trabalho. Por pressões da classe organizada e do sindicato rural, o prefeito da cidade resolveu criar a Secretaria de Agricultura do município, cumprindo uma promessa de campanha. No lugar de contratar um político para a função o prefeito decidiu nomear um técnico com profundas raízes na comunidade e conhecimento da realidade rural, por ter tido durante muitos anos, dedicação em tempo integral, aos trabalhos de extensão rural.

A Secretaria de Agricultura é composta por duas diretorias: a Diretoria de Abastecimento e Produção a Diretoria de Desenvolvimento Rural e um núcleo administrativo que, até a presente data (2010) funciona de forma provisória. Sua principal missão é o fortalecimento das cadeias produtivas e dos arranjos institucionais locais, aumentando a rentabilidade do setor agropecuário e contribuindo para melhorar a qualidade de vida do homem do campo. Também tem como propósito aumentar a qualidade final dos produtos que são oferecidos ao consumidor, norteadas sempre por uma agropecuária com sustentabilidade. Gerencia um fundo, denominado Fundo de Desenvolvimento Agropecuário (FUNDAGRO) e a aplicação das verbas do fundo é realizada numa co-gestão, através de um conselho consultivo, o Conselho Municipal de Política Agrária e Fundiária (COMPAF).

A Secretaria de Agricultura elaborou alguns projetos considerados prioritários, pensando em novos tempos e novas atitudes para o setor agropecuário. Foram definidas algumas metas específicas para os projetos, sem, entretanto, dispor de orçamento definitivo.

Considerando a dificuldade inicial de um orçamento básico para execução dos projetos foram implementadas três ações: um levantamento detalhado sobre a estrutura de produção de uma microregião denominada Caxambu, encontros com outras comunidades rurais para conhecer as demandas dos agricultores e a aquisição de dois caminhões de calcário dolomítico para venda, a preços de custo, aos pequenos agricultores. Logo em seguida, foram iniciadas hortas em algumas escolas e reformados alguns microtratores da patrulha mecanizada. Posteriormente, alguns projetos foram elaborados.

Os projetos foram concebidos com objetivos específicos e respaldados em escopos e/ou mecanismos de políticas públicas tradicionais. As interferências dos diversos atores e instituições públicas e privadas envolvidas nos projetos pode ser simplificada pela Figura 1.

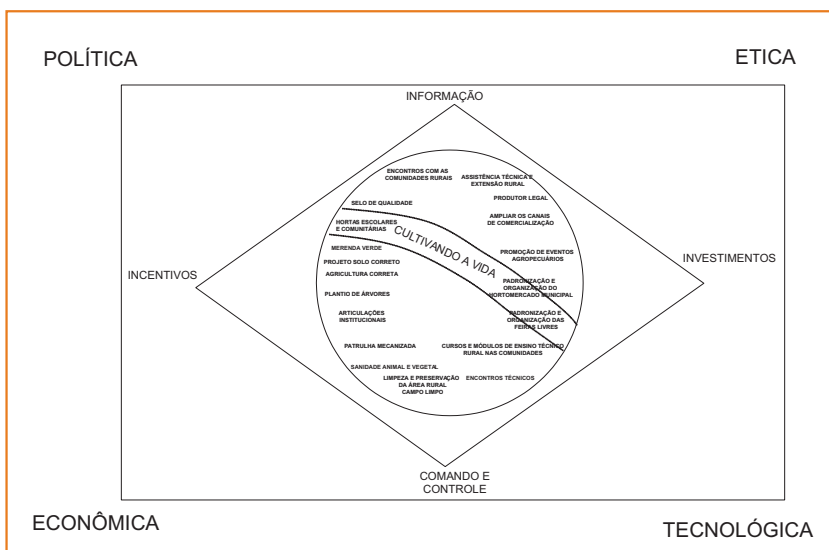


Figura 1: Racionalidades, Políticas Públicas e Projetos.

As racionalidades que induzem os processos de decisão sobre as políticas públicas, que por sua vez determinam a natureza dos projetos e as ações de campo, são abrangentes e circundam a Figura 1, nos vértices do retângulo. As principais influências e motivações na decisão podem ser definidas em quatro itens distintos:

a racionalidade política, a ética, a esfera econômica e a tecnológica. Racionalidade significa um modo de pensar, um universo de pressupostos, de procedimentos metodológicos, um corpo de critérios e de interesses ao longo do tempo. Isso não quer dizer, por exemplo, que um engenheiro motivado pelo aspecto tecnológico na construção de uma estrada tenha que cortar um conjunto de árvores centenárias imediatamente. Ele pode também, por razões éticas, contornar os obstáculos, recomendando um aumento do custo de construção da estrada para salvar as árvores, por razões de consciência ecológica.

A racionalidade política tem como fim preservar o poder, ampliar o prestígio e conseguir os votos da população nas eleições. A racionalidade ética busca criar, nutrir e defender os valores da verdade, da preservação, da solidariedade e da distribuição mais racional da riqueza. A racionalidade econômica busca a redução dos custos financeiros dos projetos, assim como a expansão da renda e a inserção dos produtos nos mercados. A racionalidade tecnológica busca assegurar com que os processos produtivos sigam uma lógica científica e níveis de segurança (GOULET, 1999).

Na gestão desse processo o difícil é saber quando abrir mão da preservação por causa da influência do fator econômico, ou quando abrir mão da economia de curto prazo, por causa da preservação e assim por diante. Encontram-se conflitos que precisam ser administrados e monitorados durante todo o tempo respeitando as diferenças ideológicas, os pensamentos, as idéias e os níveis de conceitos de cada um dos atores. Os projetos podem sofrer transformações e/ou atrasos pelas influências constantes de atores internos e externos ao sistema, que interferem e dominam o tempo do planejamento e da execução dos projetos. Toda a área entre o retângulo e o losango da Figura 1 constitui uma superestrutura de pensamentos, idéias, experiências e reflexões, para o manejo dos eventuais conflitos humanos que podem surgir na execução dos projetos.

O losango da Figura 1 tem os seus vértices pontuados pela função tradicional das políticas públicas numa economia de mercado e podem ser definidos pelos instrumentos de controle, instrumentos e marcos regulatórios, incentivos e informações. A Figura 1 é completa com o seu interior formado por quantos forem os projetos. No centro desta figura, além dos projetos, observamos a realidade local: a

humana, a social, a institucional, a histórica, a cultural e a ambiental.

Em relação ao objeto de intervenção, uma o objeto de intervenção. Nesse objeto uma frase pode resumir a vontade, dentro de todos os preceitos e motivações apresentados ao longo desse capítulo e que caracteriza o esforço de mobilização popular realizado até o momento: “cultivando a vida” - elaborada pela Professora Mariluce, da Escola Municipal Beatriz Zaleski em um encontro realizado no dia 18 de outubro de 2008.

Resultados obtidos no âmbito das atividades e projetos da Secretaria de Agricultura da Prefeitura Municipal de Petrópolis – 2006/2008

Encontros com as comunidades rurais

Estes buscaram mobilizar os produtores para identificar os problemas e organizar os projetos e ações prioritárias de sua própria localidade. Estreita a relação e desenvolve capital social, além de ser importante ferramenta para a busca e priorização de soluções dos problemas.

Cursos e módulos de ensino técnico rural nas comunidades

Implantaram programas de capacitação profissional no meio rural, com intuito de melhorar a formação da força de trabalho dos futuros produtores rurais e suas famílias. Defendeu-se a criação de núcleos de ensino e de práticas agrícolas acoplados às escolas públicas do meio rural de Petrópolis, como forma de difusão das técnicas agroecológicas e de uma agricultura sustentável.

Levantamento do potencial agropecuário de Petrópolis

Pesquisa realizada nas unidades familiares de produção, agricultores, meeiros e criadores de Petrópolis, com a finalidade de conhecer o perfil do produtor rural, os insumos utilizados nos processos produtivos, o volume de defensivos agrícolas utilizados, a dimensão da área cultivada e os sistemas de comercialização. Serviu

também para criação de indicadores da efetividade das políticas públicas (crédito contratado, índice de formalidade, comportamento ambiental e outros). Este projeto foi realizado somente na região de Caxambu, com 120 produtores e interrompido por falta de recursos humanos e logísticos.

Projeto Solo Correto

Forneceu calcário a preço de custo (R\$2,50 por saco de 50 kg) para pequenos agricultores, possibilitando a correção de solos e contribuindo para a diminuição dos custos de produção, o aumento da rentabilidade das atividades agrícolas e a maior incorporação de tecnologia.

Limpeza e preservação da área rural – Projeto Campo Limpo

Contribui para a melhoria da qualidade de vida da população rural estimulando e realizando campanhas de coleta e recolhimento de embalagens plásticas, vidros e frascos de agrotóxicos, jogados nos rios e nas áreas rurais em geral. Cria e desenvolve, em maior escala, uma mentalidade de maior cuidado com os seres humanos, as nascentes, os rios e os solos de Petrópolis, visando orientar o processo produtivo, no sentido de uma agricultura mais ecológica e equilibrada.

Agricultura correta

Contribuiu com a oferta de produtos alternativos para os problemas de fitossanidade (calda sulfocálcica, calda bordaleza, calda viçosa e outros) a preço de custo, aumentando a rentabilidade dos produtores de Petrópolis, incorporando tecnologia de forma sustentável, reduzindo e substituindo os agrotóxicos utilizados.

Unidade Didática – Centro de Educação Ambiental – Museu da Agricultura

Buscava atrair crianças, turistas e público em geral para o Parque Municipal de Petrópolis, demonstrando alguns elementos da

atividade agrícola básica, estimulando a educação ambiental e contribuindo para uma aproximação concreta da população urbana com o mundo rural. Este projeto foi iniciado e interrompido por falta de recursos financeiros.

Padronização e organização de feiras livres

Estimula e promove condições para melhorar o funcionamento dos pontos de venda, garantindo a segurança alimentar, criando um ambiente saudável para o consumidor e aumentando a rentabilidade dos produtores.

Plantio de árvores nativas e comerciais

Incentiva a recomposição florestal em áreas degradadas, em áreas de interesse ambiental e em áreas adequadas ao plantio comercial.

Hortas escolares e comunitárias

Utiliza a horta como elemento pedagógico para desenvolvimento da educação e dos hábitos alimentares saudáveis.

Padronização e organização do hortomercado municipal

Estimula e promove condições para aperfeiçoar o funcionamento do Hortomercado Municipal, proporcionando segurança alimentar e um ambiente saudável para o consumidor. O Horto já teve duas reformas no período 2006/2008 e intenso processo de envolvimento dos feirantes em práticas de comercialização e higiene. O Horto localizado em Itaipava tem sido também importante centro de difusão cultural da riqueza agrícola de Petrópolis. Além disso é um importante ponto de atração turística do município.

Promoção de eventos agropecuários

Estimula o associativismo, a integração dos produtores, a

realização de exposições especializadas, leilões e a promoção das atividades agropecuárias do município de Petrópolis. Durante estes anos, foram realizados eventos equestres, leilões e exposições de bovinos e exposições da produção de agricultores familiares da região.

Articulações institucionais

Estreita relações com as diversas instituições buscando parcerias para o desenvolvimento local do setor agropecuário.

Patrulha mecanizada

Disponibiliza microtratores para os pequenos produtores e projetos comunitários, a preços de custo, fomentando a produção agrícola. Apóia serviços mecanizados estruturantes, facilitando e melhorando as condições da produção.

Produtor legal

Estimula e auxilia a formalização e legalização das atividades agropecuárias nos aspectos tributário, fundiário, sanitário, entre outros.

Ampliação de canais de comercialização

Incentiva e promove novos canais de comercialização.

Merenda Verde

Apoiaria a construção de estufas com tecnologia adequada para enfrentar problemas climáticos e de produção, contribuindo ainda para maior segurança na colheita e, ao mesmo tempo, criando um novo canal de comercialização junto às escolas da rede pública fundamental. Infelizmente por falta de estrutura este projeto não teve início.

Selo de qualidade

Institui o selo de qualidade para produtos e processos do setor agropecuário, incentivando a aplicação das boas práticas agropecuárias e agroindustriais no município de Petrópolis.

Encontros técnicos

Debates técnicos buscando a disseminação de informações e conhecimentos que de alguma forma contribuam com o desenvolvimento da cidade e da região.

Sanidade animal e vegetal

Convênio com a Defesa Agropecuária Estadual promovendo a fiscalização e a orientação dos produtores e empresários, visando uma qualidade superior dos produtos da região.

Assistência técnica e extensão rural

Convênio com a EMATER-RIO visando fomentar e trazer novas técnicas e conhecimentos para os produtores agropecuários da região em questão.

Plantio de árvores

Incentiva a recomposição florestal em áreas degradadas, em áreas de interesse ambiental e em áreas adequadas ao plantio comercial. Incentiva o plantio de espécies frutíferas diversificando a produção e colaborando com a melhoria de renda.

Conclusões e recomendações

A articulação interinstitucional, a mobilização popular e a política fazem parte de uma ação de coordenação onde há limitações relacionadas ao grau de conhecimento e consciência, a vontade e a determinação de uma determinada população em um contexto

histórico-social específico. A confiança dos atores envolvidos aumenta o compromisso em obter bons resultados, na medida em que os projetos apresentados no COMPAF foram aprovados sem ressalvas. Esse conselho aglutina as lideranças locais, associações de agricultores e promove o debate sobre prioridades, programas e projetos.

Acredita-se que os níveis de informações, incentivos e controles administrados nos projetos de fomento, do setor agropecuário, irão se somar a outras iniciativas de diversas outras áreas de governo, para que um estilo de desenvolvimento endógeno, mais autônomo, possa além de criar oportunidades de trabalho e renda para a população, canalizar mais recursos para a recuperação de passivos ambientais e alimentar novas oportunidades econômicas no segmento de turismo histórico, ecoturismo e turismo rural.

Ainda tem-se uma longa caminhada e aprendeu-se que todo o processo político que se pretende ético, racional e com a defesa dos interesses legítimos da maior parte da população, depende de uma alocação eficiente de recursos e de uma participação intensa do povo no processo de decisão.

O processo de gestão de políticas públicas e a implementação de projetos no setor público, não podem ser acelerados, como na iniciativa privada, pois existem entraves burocráticos, regras, regulamentos, leis e portarias que precisam ser considerados. Na lógica do processo de trabalho, o ritmo de uma empresa pública também é diferente do de uma empresa privada e a forma de contar com um processo eficiente de gestão dependem da construção de relações de cordialidade e troca mútua. Da experiência concreta de trabalho nesta região, pode-se recomendar de forma geral, o fortalecimento de alguns projetos, a ampliação de recursos, a ampliação dos canais de comercialização, as compras institucionais, a ampliação da merenda verde, o estímulo às hortas comunitárias e escolares, o incentivo aos núcleos de práticas agrícolas em agroecologia e agricultura urbana, a mobilização para realização de projetos de preservação do meio ambiente, o incentivo à fruticultura, o reflorestamento de áreas degradadas e muitos outros. Para que esse esforço seja medido e avaliado no futuro é preciso propor melhorias e sugestões aos futuros programas e fazer um acompanhamento das ações. Sendo assim, algumas sugestões ficam registradas, a saber:

- ***Encontros com as comunidades rurais*** - é preciso ampliar o número de encontros nas diversas localidades e levar aos agricultores, ao mesmo tempo, os insumos, as informações e resultados dos demais projetos, como por exemplo, o solo correto, a agricultura correta, as possibilidades de mudas a preço de custo, promovendo a diversificação e a expansão do plantio de árvores nativas e comerciais, aumentando a credibilidade e a eficiência dos programas.
- ***Cursos e módulos de ensino técnico rural nas comunidades*** - é necessário promover uma integração completa, principalmente, com as Secretarias de Educação e Meio Ambiente, na direção de tornar este projeto prioritário do governo, para que as crianças e jovens tenham a real possibilidade de uma educação na área de agroecologia prática e teórica, realizando inclusive experimentos de campo que envolvam, a agropecuária, a gestão da propriedade e contribuindo, de alguma forma, para a formação de um cidadão consciente e estável.
- ***Assistência técnica e extensão rural*** - existe carência na ampliação da assistência técnica e extensão rural para uma grande maioria dos pequenos produtores rurais do município. Este aspecto é fundamental para o desenvolvimento rural.
- ***Projeto Solo Correto*** - é importante ampliar o volume dos insumos e disseminar mais informações, tanto em relação aos benefícios bem como à utilização dos insumos fornecidos pelos próprios projetos.
- ***Limpeza e preservação da área rural - Projeto Campo Limpo*** - a educação no campo deve envolver mais os produtores, com ações semestrais em todas as comunidades, buscando agregar aos produtos do município diferencial de qualidade e respeito ambiental nos seus processos de produção. Também torna-se importante intensificar a fiscalização fazendo cumprir a legislação já existente.
- ***Agricultura correta*** - há a necessidade de divulgar de forma mais ampla os seus benefícios, criando assim, uma maior demanda pelos produtos e insumos alternativos e facilitando também o acesso aos produtos.
- ***Hortas escolares e comunitárias*** - é possível ampliar de 20 escolas para 30 escolas, utilizando a horta como elemento pedagógico para desenvolvimento da educação e dos hábitos alimentares saudáveis. Também é fundamental dar maior consistência ao projeto, modificando a composição da merenda escolar.

• **Padronização e organização de feiras livres** - continuar aplicando todos os instrumentos de modernização das feiras, buscando sempre relacionar a qualidade com a ampliação e manutenção das atividades e dos negócios.

• **Padronização e organização do Hortomercado municipal** - trata-se de um dos símbolos da qualidade da agropecuária petropolitana, sendo ponto turístico e vitrine principal da gastronomia de Itaipava. O Hortomercado é um exemplo também de inovação de produtos e como tal deve funcionar sempre em perfeitas condições. Desta forma é preciso repetir os cursos oferecidos sobre práticas de comercialização, em parceria com o Serviço Nacional de Aprendizado Comercial (SENAC) e Serviço Nacional de Aprendizado Industrial (SENAI).

• **Promoção de eventos agropecuários** - é necessário aumentar o número de eventos para ampliar o turismo e, conseqüentemente, aumentar a receita do setor terciário. Pode-se criar um calendário prévio de eventos agropecuários para ser divulgado e realizado durante o ano. Também seria interessante expandir as possibilidades do aspecto cultural e artístico das mostras, concursos, exposições além de aumentar o movimento do agronegócio através dos leilões e vendas de produtos.

• **Articulações institucionais** - esse aspecto é fundamental para a implementação das ações e projetos pois não é possível grandes realizações isoladamente e sem bons parceiros. A Secretaria de Agricultura deve estar aberta para conciliar parcerias, independentemente das concepções ideológicas e políticas, em prol do desenvolvimento rural.

• **Plantio de árvores nativas e comerciais** - deve-se aumentar o número de mudas a serem distribuídas e expandir a idéia de diversificação, de preservação e de conservação dos recursos hídricos, que entre outros temas constitui ação fundamental para a sustentabilidade. As Secretarias de Agricultura e Meio Ambiente devem, neste setor, funcionar como uma única unidade buscando aumentar as áreas de preservação para influenciar positivamente a produção.

• **Patrulha mecanizada** - é preciso fazer manutenção periódica nos equipamentos e contratar com maior frequência e continuamente serviços de terceiros para auxiliar na realização de melhorias e

investimentos nas áreas produtivas.

- **Produtor legal** - é importante a valorização do produtor local retirando-o da informalidade, criando mercados, aumentando o fundo de participação dos municípios e despertando a sociedade para a real situação e dimensão do setor agropecuário.

- **Ampliar canais de comercialização** - uma das principais preocupações da Secretaria de Agricultura é encontrar alternativas de comercialização para os produtos locais. Uma das possibilidades que o poder público possui é a compra institucional feita para as escolas, creches, hospitais, restaurantes públicos, entre outros. Isto aumenta a receita do município através do aumento de renda dos produtores, repercutindo assim na economia local. A venda direta é outra forma de comercialização que pode contribuir bastante com os produtores, na medida em que aproxima o produtor do consumidor havendo benefícios de ambos.

- **Merenda Verde** - é uma ação educacional pois insere tecnologia na produção do alimento a ser utilizado nas escolas, contribui para diminuir os prejuízos em função das intensas chuvas e pode despertar novos hábitos na alimentação das crianças. Identifica-se a necessidade de criar metas anuais para expandir o uso da tecnologia.

- **Selo de qualidade** - esse projeto ainda não foi implementado. No entanto, está sendo elaborado um esboço dos pré-requisitos necessários ao produtor para obter o selo. No nível de administração de sua unidade produtiva o agricultor deverá cumprir e respeitar práticas que demonstrem, num primeiro estágio, cuidados com o manejo dos solos e a conservação dos recursos hídricos.

- **Encontros técnicos** - não foi possível realizar encontros além do Seminário de Agricultura Orgânica no ano de 2006. Porém, é importante promover, ou mesmo, financiar visitas técnicas à regiões com maiores tecnologias na busca de conhecimento e maior informação, aumentando assim a motivação dos produtores.

- **Sanidade animal e vegetal** - a sanidade dos produtos é uma dos mais importantes funções públicas. Não se deve pensar em desenvolvimento sem assegurar uma qualidade mínima nos processamentos e cuidados nos pontos de vendas dos produtos agrícolas. Esta é uma atribuição permanente do poder público, pois uma forma eficaz de garantir a qualidade dos produtos é a promoção e

marketing regional dos mesmos.

- **Unidade Didática – Centro de Educação Ambiental – Museu da Agricultura** – é preciso que este espaço seja dinâmico, havendo experimentos agropecuários, que demonstrem os aspectos positivos dos sistemas agroecológicos. Este é o primeiro passo para o desenvolvimento de núcleos e escolas técnicas rurais.

- **Levantamento do potencial agropecuário de Petrópolis** - É fundamental para o desenvolvimento deste projeto buscar e manter parcerias que viabilizem este trabalho. Estas parcerias poderiam ser, por exemplo, com as universidades locais e outras instituições interessadas em pesquisas direcionadas e aplicadas à realidade local.

Referências bibliográficas

ALTENBURG, T.; MEYER-STAMER, J. How to promote clusters: policy experiences from Latin America. **World Development**, v. 27, n. 9, p. 1693-1713, 1999.

ARBIX G.; ZILVOVICIUS, M.; ABRAMOVAY, R. **Razões e ficções do desenvolvimento**. São Paulo: UNESP, 2001.

CASSIOLATO, J. E.; LASTRES, H. M. M.; MACIEL, M. L. (Org.). **Pequena empresa: cooperação e desenvolvimento local**. [s.l.]: Relume Dumará, 2003.

CASSIOLATO, J. E.; LASTRES, H. M. M.; SZAPIRO, M. **Arranjos e sistemas produtivos locais e proposições d políticas de desenvolvimento industrial e tecnológico**. Rio de Janeiro: IE/UFRJ, 2000. Nota Técnica 27.

CASTEL, R. **As metamorfoses da questão social** -uma crônica do salário. 2.ed. Rio de Janeiro: Vozes, 1998.

CASTELLS, M. **A Sociedade em Rede**. 2. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1999. v.1

FAVER, C. L. **Agricultura orgânica: fatores relevantes para**

sustentabilidade. 1 v. 2004 - Dissertação (Mestrado). Fundação Getúlio Vargas – EBAPE. Centro de Formação Acadêmica e Pesquisa, Rio de Janeiro.

FURTADO, C. Desenvolvimento. In: CAIDEN, G. E.; CARAVANTES, G. R. **Reconsideração do conceito de desenvolvimento**. Caxias do Sul: Educs, 1988.

GOULET, D. **Ética del desarrollo**. Madrid: IEPALA, 1999.

LACKI, P. **Desenvolvimento agropecuários**: da dependência ao protagonismo do agricultor. Roma: FAO/PNUD; Brasília, DF: Ministério da Agricultura e do Abastecimento; Secretaria de Desenvolvimento Rural – SRD; Departamento de Assistência Técnica e Extensão Rural – DATER, 1996.

LOURENÇO, M. S. Políticas públicas e desenvolvimento. In: SILVA, C. L. da; MENDES, T. G. (Org.). **Reflexões sobre o desenvolvimento sustentável**: agentes e interações sobre a ótica multidisciplinar. Petrópolis: Vozes, 2005.

MARKUSEN, A. Interaction between regional and industrial policies: evidence from four countries. **Annual World Bank Conference on Development Economies**, Washington, D.C., 1994.

MOL, A.; SONNENFELD, D. **Ecological modernization around the world**. London: Frank Cass, 2000.

NORTH, D. **Institutions, institutional change and economic performance**. New York: Cambridge University, 2002.

PATERNIANI, E.; PATERNIANI, M. L. S. Dos primórdios à modernidade: uma breve história da agricultura. In: PATERNIANI, E. (Ed.). **Ciência, agricultura e sociedade**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006.

PORTER, M. E. Clusters and the new economics of competition. **Harvard Business Review**, nov./dec, 1998.

PUTNAM, R. D. **Comunidade e democracia**: a experiência da Itália moderna. 2.ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2000. Tradução Luiz Alberto Monjardim.

RAVAIOLI C. **Economists and the environment**. London: Zed Books, 1995.

SEN, A. **Desenvolvimento como liberdade**. São Paulo: Cia das Letras, 1999.

SILVA, C. L. da; MENDES, T. G. Desenvolvimento sustentável: um conceito multidisciplinar. In: SILVA, C. L. da; MENDES, T. G. (Org.). **Reflexões sobre o desenvolvimento sustentável**: agentes e interações sobre a ótica multidisciplinar. Petrópolis, RJ: Vozes, 2005.

SINGER, P. **Ethics**. Oxford: Oxford University, 1994.

SÖDERBAUM, P. **Ecological economics**. London: Earthscan, 2000.

SPINOZA. **Ethics**. London: Everyman, 2000.

STERNER, T. **Policy instruments for environmental and natural resource management**. Washington, D.C.: Resources for the Future, 2003.

SWANSON, T. **The economics and ecology of biodiversity decline**: the forces driving global change. Cambridge: Cambridge University, 1998.

TACCONI, L. **Biodiversity and ecological economics**. London: Earthscan, 2000.

TOMASELLO, M. **Origens culturais da aquisição do conhecimento humano**. Rio de Janeiro: Martins Fontes, 2003.

YORK, E. T. **A sustainable global agriculture**. [Athens]: The University of Georgia, 1989. 15 p. (D. W. Brooks Lecture).

Embrapa

Solos



Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro



Apoio:



Sociedade Brasileira de
Ciência do Solo



ISBN 978-85-88864-32-3

Manejo e Conservação do SOLO e da ÁGUA no Contexto das Mudanças Ambientais

