

Juliana Menezes

série decifrando a água

Índice de Qualidade de Água

**Seleção de Parâmetros
Normalização de Dados
Agregação de Parâmetros**

R 75

Índice de Qualidade de Água:

**Seleção de Parâmetros
Normalização de Dados
Agregação de Parâmetros**

seleção decifrando a água

Juliana Menezes

série decifrando a água

Índice de Qualidade de Água:

**Seleção de Parâmetros
Normalização de Dados
Agregação de Parâmetros**

Rio de Janeiro, RJ
2011

R 75

Copyright © 2011 Juliana Menezes

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)
RTS

M541i Menezes, Juliana. 1981 -
Índice de Qualidade de Água: Seleção de
Parâmetros, Normalização de Dados, Agregação de
Parâmetros. / Juliana Menezes. – 2ª ed. – Rio de Janeiro:
RTS, 2011.
51p.:il.

ISBN 978-85-912816-2-6

1. Índice de Qualidade de Água. 2. Hidrologia.
I. Título.

CDD 551.48
CDU 556

ISBN 978-85-912816-2-6



9 788591 281626

Agradecimentos

Algumas pessoas foram fundamentais na discussão das idéias contidas neste trabalho: Gerson Cardoso da Silva Jr.; Rachel Bardy Prado, Rodrigo Tavares, Luana Alves de Lima e Vinícius Cristo. Obrigada!

“Deus nos deu uma única vida

Para a usarmos da maneira que quisermos
Tem homem que passa debruçado em livros
Tem homem que passa em suspiros
E outros que passam em espirros
Mas existem outros também
Os que entendem que assim
como o conhecimento fica
Essa vida nunca termina
Nunca termina...
Se esse homem apenas
quiser passar essa vida
Perto d’Aquele que te
deu uma única vida
Que nunca termina
nunca termina

essa vida.”

Theóphilo Márquez

Sumário

Apresentação	10
Introdução	14
1. Seleção dos Parâmetros	17
1.1 Discussões sobre o Emprego de Índices Globais ou Locais	20
1.2 Emprego de Parâmetros Tóxicos	21
1.3 Perfil Poluidor dos Stakeholders	24
2 Normalização dos Dados	28
2.1 Exemplo de Curvas de Qualidade - IQA _{NSF} (National Sanitation Foundation)	29
2.1 Valor de Referência de Qualidade	32
3 Agregação dos Parâmetros	35
Referências Bibliográficas	43
Referências Bibliográficas de Citações Indiretas	48

APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

Os questionamentos que deram origem a este trabalho nasceram no 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 PRODETAB/Embrapa nº 087-02/01, finalizado em dezembro de 2005. Esse projeto teve como um de seus objetivos a caracterização, realizada no ano de 2004, e o monitoramento dos recursos hídricos, levado a cabo em 2005, da Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos (BHRSD), localizada no Noroeste do Estado do Rio de Janeiro.

Ao finalizar a etapa de caracterização detectou-se a necessidade de utilização de um método que fosse capaz de expressar a qualidade da água, bem como suas variações espaciais e temporais, de forma simples e eficaz, para que essas informações fossem absorvidas com facilidade pelos atores locais. Foi nesse momento que estudos e testes com Índices de Qualidade de Água começaram a ser desenvolvidos na área. No entanto, foi identificada a necessidade de continuidade dos estudos, uma vez que foram identificados níveis de degradação das águas elevados, principalmente em relação a água para consumo humano. Dentro dessa perspectiva, iniciou-se em 2007 o projeto “Caracterização de

Aquíferos Fraturados no Noroeste Fluminense e Elaboração de Metodologia para Estimativa de Vulnerabilidade”, financiado pelo CNPq, por meio do Edital Universal 2006. Um de seus objetivos foi a elaboração de um Índice de Qualidade de Água Subterrânea (IQAS) que servisse para áreas rurais e de embasamento cristalino, tendo como referência a BHRSD.

Este trabalho é um dos desdobramentos da tese de doutoramento da autora e está, portanto, diretamente vinculada aos projetos supracitados, tendo motivado a submissão ao Edital Universal.

O IQAS elaborado pode ser encontrado em outras publicações como:

✦ Menezes *et al.*, (2010), um capítulo intitulado *Índices de qualidade de água: métodos e aplicabilidade* que integra o livro *Manejo e Conservação do Solo e da Água no Contexto das Mudanças Ambientais* publicado pela Embrapa Solos em 2010. Este capítulo reúne diversos índices, tanto os específicos para água superficial como para água subterrânea e

✦ Menezes *et al.*, (2011), um artigo que consta nos Anais do XIV Congresso Mundial da Água que apresenta o Índice de Qualidade de Água Subterrânea para consumo humano desenvolvido para áreas rurais sob embasamento cristalino.

Este livro se propõe a discutir as etapas inerentes ao processo de construção de um Índice de Qualidade de Água, desde a seleção até a agregação dos parâmetros, perpassando pela normalização dos dados. E apesar de tratar especificamente da água serve como subsídio na elaboração de qualquer índice ambiental.

INTRODUÇÃO

INTRODUÇÃO

Segundo as Nações Unidas, ao se considerar as tendências atuais, mais de 45% da população do mundo não poderá contar com a quantidade mínima de água para o consumo diário em 2050. Seja em termos quantitativos ou qualitativos, a escassez de água já é realidade em muitas regiões do planeta atualmente. Sendo assim, estima-se que cerca de 1,1 bilhão de pessoas não tenham acesso a água potável, por exemplo. Nos países em desenvolvimento, esse problema aparece relacionado a 80% das mortes e enfermidades (FAO, 2007).

A degradação dos recursos hídricos e as perspectivas de escassez trazem à tona a necessidade de uma interpretação eficaz da qualidade das águas. É portanto necessário avaliar e monitorar, de forma objetiva e adequada, a qualidade das águas com o uso de poucos e significativos parâmetros para diferentes áreas e diversos fins. Tal necessidade é um desafio que tem sido enfrentado, na maior parte das vezes, com a otimização do monitoramento e utilização de Índices de Qualidade de Água (IQA), que consiste no emprego de variáveis que se correlacionam com as alterações ocorridas numa determinada bacia, sejam estas de origem antrópica ou natural (Toledo & Nicolella, 2002).

Alguns estudos têm demonstrado, porém, que os IQAs podem não traduzir os resultados (níveis de degradação) da maneira adequada (Ribeiro *et al.*, 1999; Prado & Di Lullo, 2007, Menezes *et al.*, 2008b). Além disso, a maior parte dos índices existentes foi desenvolvida e testada em países de clima temperado e não tropical, como o Brasil.

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.

1 C A P Í T U L O

SELEÇÃO DOS PARÂMETROS

1. SELEÇÃO DOS PARÂMETROS

O mesmo axioma do modelo de Horton (1965) permanece: o pesquisador alemão já buscava um número restrito de parâmetros, que fossem representativos de todo o país (EUA) e que refletissem a disponibilidade de dados.

Mattos & Von Sperling (1999) reuniram 64 publicações sobre o assunto, desde a criação do primeiro IQA de Horton até as últimas pesquisas da década de 1990. Sendo assim, eles observaram que as escolhas dos parâmetros nos diversos Índices de Qualidade de Água utilizados, nos mais variados países, poderiam ser agrupadas em três classes metodológicas:

- a) Pesquisa de opinião por correspondência - método *Delphi*;
- b) Métodos estatísticos e
- c) Combinação de ambos.

Mattos & Von Sperling (1999) consideram a etapa de seleção das características, ou parâmetros, nos quais o índice estará baseado, como a mais importante. Nos métodos de pesquisa de opinião, a técnica *Delphi* é a que tem sido mais utilizada (CPRH, 2003). A escolha dos parâmetros deve estar focada nos resultados

que se deseja obter com a elaboração do IQA. A Figura 1 apresenta os princípios que devem ser levados em consideração na escolha dos parâmetros para um IQA.



Figura 1: Esquema mostrando os princípios que devem ser levados em consideração na escolha dos parâmetros para um IQA.

1.1 Discussões sobre o Emprego de Índices Globais ou Locais

Os índices podem ser globais ou locais, podem ser abertos ou fechados, e estas propriedades devem ser traçadas de acordo com objetivo do IQA. Os índices globais e fechados como o de *Horton*, de *Prati* (Prati *et al.*, 1971) e da *National Sanitation Foundation*, embora sejam úteis para analisar grandes áreas, têm uma tendência de mascarar a realidade, produzindo falsas impressões para os não especialistas em qualidade da água.

Prado & Di Lullo (2007) aplicaram o IQA_{NSF} (*National Sanitation Foundation*) com algumas modificações para o município de São José de Ubá-RJ e as amostras foram classificadas predominantemente na categoria boa, embora pesquisas realizadas na mesma área mostrem que diversos parâmetros estão em inconformidade para irrigação de hortaliças consumidas cruas e consumo humano (Prado *et al.* 2005 e Menezes *et al.*, 2008a). Algumas outras aplicações (Cristo *et al.*, 2009) com o IQA_{NSF} e o IQA_C (*Canadian Water Quality Index*) (CCME, 2001) também foram realizadas em São José de Ubá e parte dos resultados seguiu a mesma tendência dos gerados por Prado & Di Lullo (2007).

Índice local parece mesmo ser uma tendência gerada pela necessidade de dados mais confiáveis e específicos. Essa propensão pode ser exemplificada pelos trabalhos de Stigter *et al.*, (2006), que geraram um IQAS para avaliar a influência das práticas agrícolas na

qualidade aquíferos de Campina de Faro e Campina da Luz em Algarve, Portugal. Germano *et al.*, (2005), elaboraram o Índice de Qualidade da Bacia Hidrográfica (IQBH), que engloba outros índices para avaliar uma sub-bacia da Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba e Aguiar & Libânio (2002) propuseram o Índice de Avaliação da Qualidade de Água Distribuída (IQAD) para examinar os sistemas de abastecimento público ou privado. Mattos & Von Sperling (1999), baseando-se na metodologia do IQA_{NSF}, escolheram os parâmetros e os pesos que deveriam compor um IQA específico para o rio das Velhas em Ouro Preto, Minas Gerais.

1.2 Emprego de Parâmetros Tóxicos

A inclusão ou não de parâmetros tóxicos na composição de um IQA motiva duas grandes vertentes de pensamento. A primeira segue a linha de pensamento de Horton (1965), que não leva em consideração substâncias consideradas tóxicas já que, segundo o autor, os rios não deveriam conter nenhum tipo de substância danosa ao meio ambiente.

Haase *et al.*, (1989) *apud* Mattos & Von Sperling (1999), mencionaram que algumas variáveis como óleos e graxas, substâncias tóxicas e radioativas, apresentam concentrações frequentemente limitadas espacial e temporalmente a determinadas situações, razão pela qual não podem ser incluídas em índices mais amplos, propostos para áreas com diferenças hidrológicas,

demográficas e geológicas. Smith (1990), que propôs um IQA para as águas superficiais da Nova Zelândia, salienta que a presença de substâncias consideradas tóxicas nessas águas não é muito comum e por isso não foram incluídas no seu IQA.

A segunda vertente é adepta da inserção de substâncias tóxicas no IQA, entendendo que é importante avaliar os impactos antrópicos, embora alguns parâmetros possam aparecer naturalmente fora dos padrões de referência. Mattos & Von Sperling (1999) no IQA para o rio das Velhas – MG, incluíram fenóis, arsênio, manganês e mercúrio. Segundo os autores, essas substâncias foram encontradas em níveis elevados na região do alto curso da bacia do rio das Velhas e por isso foram inseridas. Khan *et al.*, (2004) relataram a aplicação do IQA_C no Canadá, onde diversas variáveis consideradas tóxicas também foram inseridas no cálculo do índice.

Se as substâncias tóxicas forem inseridas no índice, duas outras demandas surgem, a saber:

a) A elaboração de curvas de qualidade para as substâncias tóxicas (o índice IQA_{NSF} serve como exemplo) e

b) A aplicação ou não de pesos no índice.

A construção de curvas de qualidade para as substâncias tóxicas é tarefa complexa, pois o grau de toxicidade desses parâmetros não é minuciosamente conhecido.

Se a finalidade do IQA não for tão restritiva quanto às relacionadas à saúde e/ou consumo humano, o uso de pesos pode ser interessante, já que alguns parâmetros podem ser mais importantes que outros. Entretanto, para avaliar águas para ingestão humana, por exemplo, qualquer parâmetro fora do valor permitido deve tornar a água imprópria para consumo. Nesses casos, parece coerente, porém incompleta, a proposta de Brown *et al.* (1970) com o Índice de Toxidez (IT), exposto no sítio eletrônico da CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo) e em (Menezes *et al.*, 2010). Isso porque, no IT de Brown *et al.* (1970), o IQA só é anulado se substâncias tóxicas estiverem presentes, mas se substâncias não tóxicas também possuem valores máximos permitidos ou mínimos exigidos, porque não anular ou tornar imprópria as águas que possuem qualquer substância em inconformidade com o padrão de referência? Caso contrário, o IQA pode classificar uma água como boa ou até mesmo ótima, mesmo que ela não atenda completamente a todos os padrões para consumo humano.

Todavia é importante estar atento ao fato de que anular o IQA faz com que ele perca sua utilidade para acompanhamento das águas monitoradas e comparação de áreas. Essa é uma lacuna existente em relação aos índices de finalidade restritiva.

1.3 Perfil Poluidor dos Stakeholders

Como dito anteriormente, as formas utilizadas para selecionar parâmetros para compor um IQA são: pesquisa de opinião, métodos estatísticos ou a combinação de ambos. Contudo, diante das necessidades atuais de índices locais e abertos, é necessária a elaboração de metodologias que imprimam mais autonomia aos pesquisadores e que permitam que as modificações locais sejam acompanhadas.

A autonomia está relacionada ao fato de que os questionários aplicados aos especialistas, pelo método *Delphi*, por exemplo, nem sempre retornam e nem todos os técnicos consultados procuram se inteirar sobre a área de estudo de maneira satisfatória, quando a proposta é de um IQA local.

Deve-se ressaltar também a alta subjetividade inerente à metodologia *Delphi*, que depende da opinião de especialistas com diversos graus de afinidade ou familiaridade com o tema e ainda variáveis disponibilidades de tempo e boa vontade para preencher os formulários.

É igualmente importante que as mudanças que possam afetar a qualidade da água sejam refletidas na composição dos índices. Ou seja, as mudanças que forem ocorrendo ao longo do tempo na área

de estudo devem gerar modificações na seleção dos parâmetros. Os índices não devem, portanto, ser estáticos.

Diante desse quadro, a identificação do perfil poluidor dos *stakeholders* pode contribuir na escolha dos parâmetros que devem compor um IQA.

O termo *stakeholder*¹ tem sido utilizado em trabalhos das mais diversas áreas do conhecimento, inclusive nas ciências ambientais, embora tenha sua origem relacionada a estratégias de administração de empresas. Freeman (1984) definiu *stakeholders* como todo grupo ou indivíduo que pode afetar ou ser afetado pela empresa ao realizar seus objetivos.

Nas palavras do próprio Freeman (1984): *"the Stakeholder approach is about groups and individuals who can affect the organization, and is about managerial behavior taken in response to those groups and individuals"*.

Assim sendo, os *stakeholders* relacionados a um dado recurso hídrico são todos os que nele possuem algum interesse, que de forma geral são os usuários.

¹ Apesar de não existir uma tradução literal do termo *stakeholder* para a língua portuguesa, em geral, é traduzido por "grupos de interesse". Esta tradução será adotada no presente trabalho.

No uso das águas acontece um fato relevante, os grupos que têm interesse no recurso hídrico de boa qualidade, muitas vezes são os principais poluidores. Essa característica, por exemplo, revela algumas nuances que uma vez analisadas, podem favorecer a gestão dos recursos hídricos.

Conhecendo o perfil de cada *stakeholder*, conhece-se também o perfil poluidor de cada um dos grupos. De posse dessas informações o gerenciamento dos recursos hídricos pode ser mais consistente, principalmente na questão dos parâmetros que devem ser analisados na caracterização e no monitoramento hidrogeoquímico e, conseqüentemente, os que devem compor um índice de qualidade de água. Mais detalhes sobre a identificação do perfil poluidor do *stakeholder* podem ser encontrados em Menezes *et al.*, (2008c).

2 C A P Í T U L O

NORMALIZAÇÃO DOS DADOS

2 NORMALIZAÇÃO DOS DADOS

Após a escolha dos parâmetros é indispensável a verificação da existência de casos de redundância ou multicolinearidade (quando existem mais de duas variáveis independentes fortemente relacionadas, com relações lineares exatas ou quase exatas). É necessário analisar se dois ou mais parâmetros não são correlacionáveis em dada área. Por exemplo, em um aquífero costeiro pode ser redundante colocar em um mesmo IQAS, cloreto, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos.

Posteriormente, é preciso padronizar os dados, já que as variáveis estão em diferentes unidades. Os subíndices servem para uniformizar os dados e é a metodologia de padronização mais aplicada em relação aos Índices de Qualidade de Água. Porém, subíndice não é o único método, existe, outros como por exemplo os que empregam a Lógica Fuzzy (Deshpande & Raje, 2003) ou a lógica booleana (codificação binária) (Stigter *et al.*, 2006).

Os subíndices são obtidos equiparando-se as concentrações de determinado parâmetro a uma escala, que normalmente varia de 0 a 100. Esse nivelamento pode ser de forma absoluta ou de forma contínua (curvas de qualidade). A curva média de variação de

qualidade é, portanto, função da concentração ou medida do parâmetro.

Os limites permitidos para cada parâmetro, de acordo com a finalidade pretendida, são também muito importantes e norteiam toda a discussão de um IQA. De forma geral, as pesquisas de opinião, os métodos estatísticos e as legislações de norma de qualidade de água são as fontes desses valores para cada parâmetro.

2.1 Exemplo de Curvas de Qualidade - IQA_{NSF} (National Sanitation Foundation)

A escolha dos parâmetros para compor o índice se deu a partir do método *Delphi*. Foram consultados 142 especialistas em qualidade de águas superficiais. 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. De forma que 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, sendo possível observar o exemplo do nitrogênio na Figura 2 (CETESB, 2007).

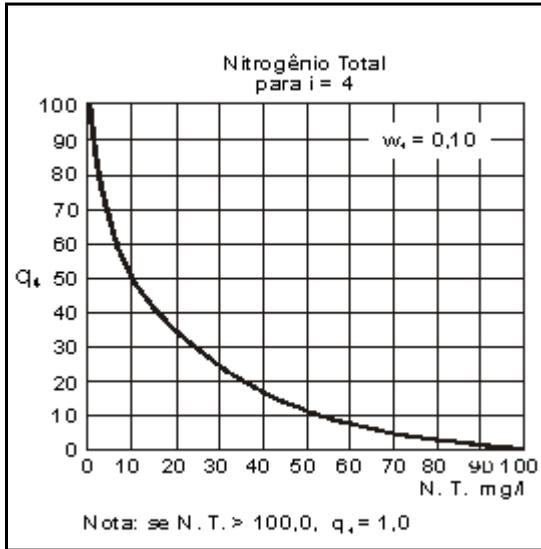


Figura 2: Curva média de variação de qualidade da água para o Nitrogênio Total (Fonte: CETESB, 2007).

A equação 1 apresenta o índice da *National Sanitation Foundation* (IQA_{NSF}) obtido pela forma multiplicativa (Landwehr & Deininger, 1976):

$$IQA_{NSF} = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (1)$$

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:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (2)$$

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.

O IQA_{NSF} é sem dúvida o índice mais disseminado no Brasil, sua propagação se deve em grande parte a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) responsável pela sua adaptação. Os parâmetros escolhidos 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.

A função de agregação do IQA_{NSF} reduz resultados com efeitos de "eclipse", que costumam ocorrer quando o impacto negativo de algum dos parâmetros agregados em um único número é atenuado. Entretanto nesta função quando os pesos são pequenos, o índice pode vir a ser demasiadamente não-linear. A ausência de algum dos parâmetros dificulta ou até mesmo inviabiliza sua aplicação, já que, a inclusão de novos parâmetros não é simples.

2.1 Valor de Referência de Qualidade

O Valor de Referência de Qualidade (VRQ), trata da concentração ou valor de um dado parâmetro, que define a qualidade natural da água subterrânea e o Valor Máximo Permitido (VMP), que é o limite máximo permitido de um dado parâmetro, específico para cada uso da água subterrânea, geram padrões de qualidade que orientam a normalização dos dados (BRASIL, 2008).

Embora a primeira regulamentação sobre as águas brasileiras date de 1934 (Código das Águas), somente em 2008, com a Resolução nº 396/08 do CONAMA, foi apresentada uma lista específica de parâmetros com maior probabilidade de ocorrência em águas subterrâneas e seus respectivos VMP para cada um dos usos

considerados como preponderantes (Consumo Humano, Dessedentação de Animais, Irrigação e Recreação).

A Norma 80/778 da Comunidade Econômica Européia (CEE), que aborda a qualidade das águas destinadas ao consumo humano, possui uma diferença em relação às diretrizes brasileiras (Portaria nº 518/04 do Ministério da Saúde; Resoluções nº 357/05 [águas superficiais] e nº 396/08 [águas subterrâneas] do CONAMA), pois inclui em seus valores de referência, não somente os valores máximos permitidos ou mínimos exigidos, mas também o valor guia (VG), que é o limite considerado satisfatório. Essa distinção entre o satisfatório e o máximo permitido ou mínimo exigido, favorece a elaboração de curvas de qualidade ou a padronização dos dados de forma geral.

3 C A P Í T U L O

Agregação dos Parâmetros

3 AGREGAÇÃO DOS PARÂMETROS

Regularmente, os valores resultantes de um subíndice são agregados por meio de algum tipo de soma ou média (por exemplo, aritmética, harmônica, geométrica) e, normalmente, incluem algum peso para cada parâmetro (por exemplo, Horton, 1965; Landwehr & Deininger, 1976). Dentro dessa perspectiva Mano (1989) *apud* (Oliveira, 2006) testou seis funções de agregação para o cálculo de IQA:

a) Média Aritmética Simples (AS):

$$IQA_{AS} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{Subíndice}_i \quad (1)$$

b) Média Aritmética Ponderada (AP):

$$IQA_{AP} = \sum_{i=1}^n \text{Subíndice}_i x P_i \quad (2)$$

c) Média Aritmética Simples Modificada (ASM):

$$IQA_{ASM} = \frac{1}{100} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{Subíndice}_i \right)^2 \quad (3)$$

d) Média Aritmética Ponderada Modificada (APM):

$$IQA_{APM} = \frac{1}{100} \left(\sum_{i=1}^n \text{Subíndice}_i \cdot xP_i \right)^2 \quad (4)$$

e) Média Geométrica Simples (GS):

$$IQA_{GS} = \left(\prod_{i=1}^n \text{Subíndice}_i \right)^{\frac{1}{n}} \quad (5)$$

f) Média Geométrica Ponderada (GP):

$$IQA_{GP} = \prod_{i=1}^n \text{Subíndice}_i^{P_i} \quad (6)$$

Onde:

IQA: Índice de Qualidade da Água;

Subíndice_i ou *q_i*: Subíndice ou valor de qualidade obtido, através de uma função de qualidade para cada variável;

P_i: Peso atribuído a cada parâmetro e

n: número de parâmetros que entram no cálculo do IQA.

De acordo com Mano (1989, *apud* Oliveira, 2006), após comparar os resultados obtidos com a aplicação das seis funções de agregação, concluiu que a formulação Aritmética Ponderada Modificada (equação 4), que representa o quadrado do índice aritmético ponderado dividido por 100, é a função que melhor reproduz a qualidade de uma determinada água.

Ainda segundo Mano (1989) *apud* (Oliveira, 2006), esta função de agregação, além de conduzir à obtenção de índices ponderados e não apenas a médias simples, não induz, tal como sucede com as funções de agregação multiplicativas, à obtenção de valores por defeito, especialmente para as classes de qualidade mais baixas. Isto ocorre pelo fato de se tratar de uma função de agregação aditiva.

Embora Mano (1989) *apud* (Oliveira, 2006) seja favorável a aplicação da Média Ponderada Modificada, a função mais disseminada é a que foi proposta Landwehr & Deininger (1976) da *NSF*. De acordo Abbasi (2002), o índice multiplicativo da NSF é bom porque elimina o problema de ambigüidade e "ocultamento", da mesma forma que a agregação feita pelo método do operador mínimo.

O IQA_{NSF} tem sido empregado em todo mundo (Giljanovicâ, 1999), tornando-se sinônimo de IQA. Para usos restritivos, o emprego do IQA_{NSF} dentre as expressões matemáticas retratas,

parece bem mais apropriado, já que por ser um produtório, valores próximos a zero (pior qualidade) fazem com que o valor final do índice também seja baixo.

As formulações matemáticas citadas não são as únicas formas de construção de um IQA. O IQA_C (*Canadian Water Quality Index*) e o IQA_{AFC} (Análise Fatorial de Correspondência), por exemplo, demonstram a diversidade que tem sido encontrada em alguns trabalhos. Algumas pesquisas têm confrontado índices diferentes, com a mesma composição de parâmetros para uma mesma área de estudo.

Almeida, A, (2007) comparou o IQA_{NSF} e o IQA_C , para as águas superficiais do rio Cuiabá e concluiu que:

a) Os resultados mostraram que dois métodos de cálculo IQA_C (muitas vezes representado pela sigla CWQI de *Canadian Water Quality Index*) e NSF reproduzem o mesmo comportamento de qualidade. Porém, sob certas condições (número de parâmetros e critérios de qualidade) o método IQA_C /CWQI produz valores de IQA com magnitude superior e inferior aos valores calculados com o método NSF;

b) Quando o número de parâmetros e critérios de qualidade é menor ou igual aos nove parâmetros de qualidade utilizados no

método NSF, o método $IQA_C/CWQI$ superestima os valores de IQA em relação aos valores calculado pelo método NSF e;

c) Quando o número de parâmetros e critérios aumenta em relação aos nove utilizados no método NSF ocorre o efeito contrário. Ou seja, a magnitude do $IQA_C/CWQI$ decresce em relação aos valores calculados através do IQA_{NSF} . Isso ocorre porque o método $IQA_C/CWQI$ torna-se mais restritivo que o método NSF, devido ao aumento do número de parâmetros e critérios de qualidade.

É importante ressaltar que o mesmo comportamento de qualidade, não significa a mesma categoria no IQA_{NSF} e no IQA_C , e sim variações proporcionais. Por exemplo, quando o IQA_C superestima os valores no IQA_{NSF} o ponto X está na categoria boa e o Y na regular, no IQA_C o ponto X está na classe ótima e o Y na boa.

Ribeiro *et al.* (1999) compararam o IQA_H , o IQA_{Prati} e o IQA_{NSF} em águas superficiais da Bacia Hidrográfica do rio Caí, no Rio Grande do Sul. Segundo os autores, o IQA_{NSF} descreveu melhor a qualidade das águas do rio Caí e seus afluentes, sendo o mais adequado as condições estudadas. Isso porque o IQA_{NSF} considera um número maior de parâmetros que realmente demonstram o estado do rio Caí se comparado com o IQA_H e com o IQA_{Prati} . Portanto, a comparação foi em relação ao índice completo e não somente as formulações matemáticas.

Ferreira & Ide (2001) analisaram as águas do rio Miranda, no Mato Grosso do Sul e também compararam três índices, o IQA_H (Horton, 1965), o IQA_{Smith} (Smith, 1987) e o IQA_{NSF} (Landwehr & Deininger, 1976). Ao final do trabalho, os autores constataram divergências entre os resultados, pois enquanto o IQA_H qualificou a água do rio Miranda como ótima, o IQA_{NSF} a qualificou como boa e o IQA_{Smith} , como inadequada aos principais usos. Foi utilizada a mesma composição para o IQA_H e para o IQA_{Smith} e verificou-se que ambos os índices apresentaram as mesmas oscilações, embora o IQA_{Smith} tenha gerado resultados mais críticos.

Com base nos trabalhos citados anteriormente é possível concluir que mesmo aplicando equações diferentes é possível obter resultados semelhantes, quando a composição do IQA é a mesma. Isso significa dizer que a equação pode ser adequada e, ainda assim, não refletir a realidade com boa aproximação. Isso aponta que o problema pode estar na composição dos índices.

A escala de categorias/classes também é um assunto importante na construção de um Índice de Qualidade de Água, pois no momento de comparar resultados de índices diferentes é necessário levar em consideração o que de fato cada índice considera como ótimo, bom ou regular. Em Menezes *et al.*, (2010) é possível consultar um item sobre este tema.

Um IQA perfeito não existe, pois refletir integralmente a realidade não é possível, visto que nesse tipo de aplicação a soma das partes não é o todo. Entretanto, é possível aplicar aquele que melhor se ajuste às necessidades e objetivos do caso estudado. É indispensável que os pontos fortes e fracos do índice a ser aplicado sejam conhecidos, e sendo assim, o conhecimento dessas características poderá ajudar na avaliação dos resultados gerados pelo IQA.

BIBLIOGRAFIA

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, M.S.A.; LIBÂNIO, M. Proposta para estabelecimento de índice de avaliação da qualidade de água distribuída. *In*: SIMPÓSIO ITALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 6., 2002, Vitória. **Anais...** Vitória: ABES, 2002. Disponível em: <<http://www.bvs.br/php/index.php>>. Acesso em: 28 nov. 2008.

ALMEIDA, A.A. **Estudo Comparativo entre os Métodos IQA_{NSF} e IQA_{CCME} na Análise da Qualidade da Água do Rio Cuiabá**. 2007. 94f. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente, Universidade Federal de Mato Grosso, Mato Grosso, 2007.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357**, de 23 de Janeiro 2005. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama>. Acesso em: 1º jun. 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 396**, de 3 de Abril 2008. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama>. Acesso em: 1º maio 2008.

BRASIL. Decreto nº 24.643, de 10 de Julho de 1934. **Código das Águas**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d24643.htm>. Acesso em: 2 dez. 2008.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria Nº 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: 1º jun. 2005.

BROWN, R.M.; MCLELLAND, N.I.; DEININGER, R.A.; TOZER, R.G.A. Water Quality Index – Do we dare? **Water & Sewage Works**, p.339-343, 1970.

CEE - Comunidade Econômica Européia. Norma 80/778/CEE. 1980. Disponível em <<http://eur-lex.europa.eu/pt/index.htm>>. Acesso em: 20 fev. 2006.

CCME - Canadian Council of Ministers of the Environment, 2001, **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.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. **Índice de Qualidade da Água**. 2007. 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 do Estado de Pernambuco. **Índice e Indicadores de Qualidade da Água**. 2003. v.1, 114p. 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 Volume. p.364-368. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/topAccessedArticles.jsp?punumber=9109>>. Acesso em: 8 set. 2007.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Dia Mundial da Água**. 2007. Disponível em: <https://www.fao.org.br/vernoticias.asp?id_noticia=45>. Acesso em: 25 abr. 2007.

FERREIRA, L.M.; IDE, C.N. 2001. 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.

FREEMAN, R. E. **Strategic management: a Stakeholder approach**. Boston: Pitman, 1984.

GERMANO, P.C.C.; CALDART, E.L.; RICARDO, E.M.M.; NEVES, J.M.M.; WARTH, M.F.N. Proposta de adoção de um índice de qualidade para uma sub bacia do lago Guaíba, como ferramenta de gestão de recursos hídricos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23. 2005, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: ABES, 2005b. 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 jul. 2008.

MATTOS, A.R.; VON SPERLING, E. Índice de Qualidade de Águas para a Bacia do Rio das Velhas - Aspectos Metodológicos e Avaliação Qualitativa do Meio Ambiente. 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.

MENEZES, J.M.; PRADO, R. B.; SILVA JR., G. C. Manejo Inadequado do Solo e Reflexo na Qualidade dos Recursos Hídricos Superficiais e Subterrâneos em São José De Ubá/ Noroeste do Estado do RJ. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 17., 2008a. **Anais...** Rio de Janeiro: SBSC, 2008a.

MENEZES, J. M., PRADO, R. B.; SILVA JR., G. C.; SANTOS, R.T. Índices de Qualidade de Água: métodos e aplicabilidades. In: PRADO, R.B.; TURETTA, A.P.D.; ANDRADE, A.G. (Org.) Manejo e Conservação do Solo e da Água no Contexto de Mudanças Ambientais. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2010. 486p. ISBN 978-85864-32-3 Disponível em: <http://www.cnps.embrapa.br/publicacoes/pdfs/livro_2010_manejo_con_solo_agua.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2011.

MENEZES, J. M.; PRADO, R. B., SILVA JR, G. C.; SANTOS, R. T. Índice de Qualidade de Água Subterrânea. In: WORLD WATER CONGRESS, 14., 2011. **Proceedings...** Porto de Galinhas: IWRA, 2011. 1 CD-ROM

MENEZES, J. M.; SANTOS, R. T.; SILVA JUNIOR, G. C.; PRADO, R. B. Identificação dos Stakeholders: Uma Ferramenta na Avaliação da Qualidade das Águas Subterrâneas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 15., 2008c. **Anais...** Natal: ABAS, 2008. 1 CD-ROM

MENEZES, J.M.; SOUZA, M.; CRISTO, V.N.; SILVA JR., G.C.; PRADO, R.B. Aplicação do IQAccme em Aquíferos do Estado do Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL-SUDESTE, 2., 2008. **Anais...** Rio de Janeiro: ABRH, 2008b. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA, R.E.S. **Construção de um Sistema de Indicadores da Qualidade das Águas Superficiais numa Bacia Hidrográfica.** 2006.237f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Municipal). Universidade do Minho. Escola de Engenharia. Disponível em: <<http://www.notapositiva.com/monograf/engcivil/mestrado/001constistindqual.htm>>. Acesso em: 18 mar. 2008.

PRADO, R.B.; MENEZES, J.M.; MANSUR, K.L.; MARTINS, A.M.; FREITAS, P.L. DE; SILVA JUNIOR, G.C.; CARVALHO, L.G.; PIMENTA, T.S.; LIMA, L.A. Parâmetros de Qualidade da Água e sua Relação Espacial com as Fontes de Contaminação Antrópicas e Naturais: Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos – São José de Ubá, RJ. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABRH, 2005. 1 CD-ROM.

PRADO, R.B.; LULLO, L.B. Aplicação e Mapeamento de Índice de Qualidade da Água na Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos – RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007. **Anais...** São Paulo: ABRH, 2007.

PRATI, L.; PAVANELLO, R.; PESARIN, F. Assessment of Surface Water Quality by a Single Index of Pollution. **Wat. Res.** v.5, p. 741–751. 1971.

RIBEIRO, M.L.; DEUS, A.B.S.; LUCA, S.J. Bacia Hidrográfica do Rio Caí/ RS: Índices Podem Mascarar Avaliação da Qualidade da Água. *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.

SMITH, D.G. A New Form of Water Quality Index for Rivers and Streams. **Wat. Sci. Tech.**, New Zealand, v.21, n. 2, p. 123-127. 1987.

_____ A Better Water Quality Indexing System for Rivers and Streams. **Water Research**, v. 24, n.10, p. 1237 – 1244, 1990.

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**. 327, p. 578– 591. 2006.

TOLEDO, L.G.; NICOLELLA, G. Water Quality Index For Agricultural And Urban Watershed Use. **Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)**, Jan./Mar. 2002, v.59, n.1, p.181-186. ISSN 0103-9016.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DE CITAÇÕES INDIRETAS

HAASE, J., KRIEGER, J.A.H., POSSOLI, S. Estudo da viabilidade do uso da técnica de análise fatorial como um instrumento na interpretação da qualidade da água da bacia hidrográfica do Guaíba, RS, Brasil, **Ciências e Cultura SBPC**, v. 41, n. 6, p. 576 – 582, 1989.

MANO, A.P. **Contribuição para o Estudo da Aplicabilidade de Índices de Qualidade da Água**. 1989. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal.

A AUTORA

Juliana Menezes, geógrafa, doutora em geociências, professora adjunta do departamento de geografia da Universidade Federal Fluminense (UFF/PUCG) vem tecendo em sua vida acadêmica desde a graduação ao pós-doutorado uma linha de trabalho na temática ambiental com ênfase em monitoramento dos recursos hídricos e geotecnologias.

O livro

**Como elaborar um Índice de
Qualidade de Água? Qual
melhor algoritmo a seguir?**

**Essas são algumas das
perguntas que esta obra
pretende responder, vindo
de encontro a lacuna
existente sobre este tema na
literatura científica.**

série decifrando a água

**Esta coleção pretende trazer à tona
temas relevantes aos recursos
hídricos. E ajudar na disseminação
não só de conceitos já aceitos pela
comunidade acadêmica mas também
de novas descobertas e
possibilidades.**