

APOSTILA DE CO-GERAÇÃO

**Notas de aula de Co-geração do
Curso de Engenharia de Equipamentos**

Professor: Newton Paterman Brasil

Edição de agosto de 2005

ÍNDICE

I) Introdução

1) Conceituação	3
2) Histórico	3
3) Vantagens da co-geração	4

II) Plantas

1) Tecnologia	5
2) Combustíveis	8

III) Equipamentos e ciclos térmicos

1) Turbina e motor a gás natural	11
2) Compressor de gás	13
3) Caldeira de recuperação	13
4) Gerador de água gelada	14
5) Pannel de sincronismo e paralelismo	17
6) Turbinas a vapor	18

IV) Viabilidade

1) Aplicabilidade do ponto de vista técnico	20
2) Exemplos de aplicação	21
3) A co-geração e o meio ambiente	24
4) Análise econômica	25
5) Condições favoráveis à co-geração	29
6) Estudo de caso	29

ANEXO 1: Sistemas de potência a vapor*

ANEXO 2: Sistemas de potência a gás*

ANEXO 3: Co-geração com turbina a vapor*

ANEXO 4: Tabela de densidades e poderes caloríficos superiores e inferiores do BEN

* trechos de apostilas da NEST/EFEI/FUPAI

1) Introdução

1) Conceituação

Apesar dos enormes investimentos do setor elétrico na infra-estrutura de suprimento, sempre se verificou a busca pela auto-suficiência por alguns consumidores de eletricidade. Há indústrias que possuem subprodutos combustíveis de baixo valor, ou poluentes, e que aproveitam tudo o que podem ao extrair-lhes a energia. É o caso do bagaço de cana no setor de açúcar e álcool, do licor negro no de papel e celulose, do resíduo asfáltico no de refino de petróleo, etc.

A geração de energia elétrica quando encontrada junto aos centros de carga ou dentro dos próprios, como é o caso da auto-produção, conhecida como geração distribuída, só se tornou competitiva com a concentração em grandes usinas, na medida em que a tecnologia se desenvolveu no sentido de aumentar a eficiência das máquinas acionadoras dos geradores elétricos (COBAS, 2001).

A co-geração é uma solução de engenharia, aplicável para determinados usuários de energia, que pode, em condições que mostraremos a seguir, viabilizar economicamente a auto-produção de energia. Melhor definida na língua inglesa como CHP (*combined heat and power*), a co-geração é usualmente entendida como a geração simultânea, e combinada, de energia térmica e energia elétrica ou mecânica, a partir de uma mesma fonte. A vantagem principal, e inicial, é o maior aproveitamento da energia contida na fonte, reduzindo consideravelmente os custos de produção da energia nas duas formas citadas. A figura 1 a seguir mostra de forma esquemática esse entendimento.

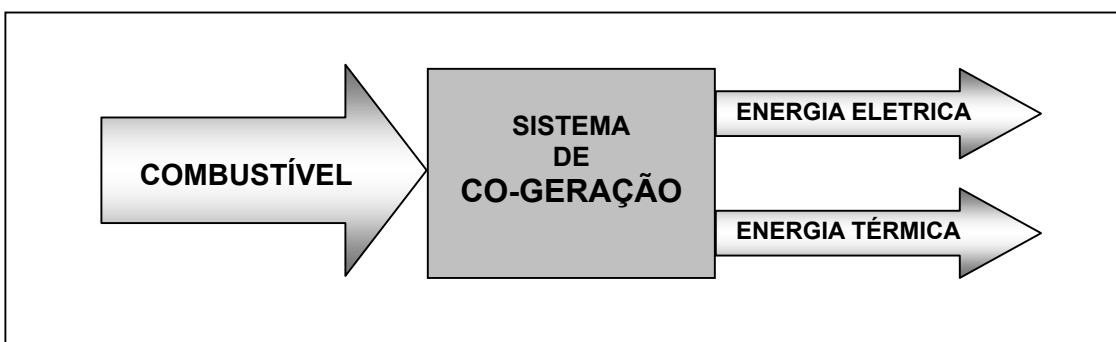


Figura 1 Co-geração de energia

Nesse trabalho nos concentramos na co-geração a partir do gás natural, mas um estudo mais amplo desse assunto nos mostraria o uso da co-geração de diversas outras formas. Porém, o conceito permanece o mesmo: minimizar custos aproveitando ao máximo o conteúdo energético de uma fonte, seja ela gás, óleo, lenha, bagaço de cana, resíduos combustíveis em geral etc.

2) Histórico

A energia elétrica entrou inicialmente no cotidiano das indústrias na forma de auto-produção. A tração animal ou humana foi substituída na era industrial (século XIX) pela máquina a vapor d'água, que permitiu o uso simultâneo deste fluido energético para processos de aquecimento e para acionamento mecânico. A energia mecânica já era

obtida de quedas d'água e do vento através de moinhos, onde os processos de aquecimento utilizavam outros meios que não o vapor. Como exemplo temos os engenhos de café, cujos grãos eram secados em grandes pátios submetidos ao calor do Sol e depois moídos em pilões movimentados por alavancas e roldanas ligadas a correias, tudo acionado por grandes rodas d'água, aproveitando o represamento de algum riacho da fazenda. O mesmo ocorre ainda nas salinas em que o vento ajuda o calor do Sol a evaporar a água, separando fisicamente os sais minerais, ao mesmo tempo em que move os moinhos acionadores das bombas, que movimentam a água retirada do mar.

Voltando à máquina a vapor, que fazia papel semelhante ao da roda d'água dos engenhos de café, a distribuição da energia mecânica, via eixos, roldanas e correias, pode ser substituída pela distribuição de energia elétrica, produzida num gerador central acionado pela máquina a vapor, e levada a motores elétricos por meio de cabos. Da forma descrita podemos perceber que a co-geração já era um conceito energético nas empresas antes do advento das companhias de fornecimento de eletricidade. Se utilizarmos turbina ou motor a gás para acionar um gerador elétrico, os gases quentes provenientes da descarga desses equipamentos podem ser utilizados para gerar vapor através de uma caldeira de recuperação.

3) Vantagens da co-geração

A co-geração apresenta diversos aspectos que atraem as empresas para esta alternativa. A primeira que vem à tona é quanto à redução de custos operacionais. Em muitas empresas a participação do custo de energia no custo final do produto pode ser muito grande e a possibilidade de aumentar a eficiência no aproveitamento da energia adquirida é sempre atraente.

Outro ponto de grande importância está na confiabilidade. Um sistema de co-geração é, na prática, um sistema de auto-produção de energia elétrica, obtida de equipamentos reconhecidamente confiáveis e de combustíveis cujo fornecimento não está tão sujeito aos tipos de interrupções que, em certos lugares, ocorrem no suprimento de energia elétrica. No momento atual em que o setor elétrico sofre os efeitos de um período de poucos investimentos na geração e na transmissão e, portanto, com tendências de déficit de geração e problemas de transporte, a co-geração, como geração distribuída, se apresenta com grande atratividade tanto para os consumidores quanto para a sociedade em geral.

Vários anos de experiência do autor deste trabalho, em contato com clientes de distribuidoras estaduais de gás canalizado, permitiram observar que algumas empresas, mesmo não obtendo resultados representativos na redução dos seus custos, e às vezes até os aumentando, recorrem à co-geração a gás natural buscando beneficiar sua imagem junto ao mercado, mostrando-se como uma empresa moderna tecnologicamente e preocupada com conservação de energia e com o meio ambiente.

Um consumidor de energia elétrica dificilmente terá escala suficiente para produzir sua própria energia elétrica a um custo menor do que o da energia oferecida pela empresa concessionária. O preço da aquisição de combustível fóssil adicionado ao custo de capital necessário para transformá-lo em energia útil leva a um custo do MWh gerado bem maior do que o que se apresenta na sua conta mensal da distribuidora local, a menos que esse consumidor tenha possibilidades de obter combustível (ou aproveitamento hídrico) a baixo custo, como é o caso do setor sucroalcooleiro, ou do segmento de papel e celulose, entre outros.

Hoje a decisão de implantar co-geração é uma decisão de risco. A análise de viabilidade passou a ser uma análise de risco, e não uma análise técnico-econômica,

como era antes. A possibilidade de um projeto como este dar certo está mais ligada a cálculos dos custos da não confiabilidade do suprimento tradicional, e a mecanismos de mitigação (*hedges*) de riscos associados a preços de combustíveis e de energia elétrica. Por outro lado, os modelos de análise de viabilidade deixam de ser determinísticos e passam a possuir variáveis probabilísticas, refletindo as diversas incertezas envolvidas no projeto de co-geração.

II) Plantas

1) Tecnologia

As plantas de co-geração mais comuns são concebidas com caldeira e turbina a vapor, utilizando o ciclo termodinâmico de Rankine. Na figura 2 o combustível, fonte de toda a energia produzida pela planta, é introduzido para queima numa caldeira e o vapor gerado, de alta pressão, é levado a uma turbina a vapor, de contrapressão ou de condensação com extração, que aciona o gerador elétrico.

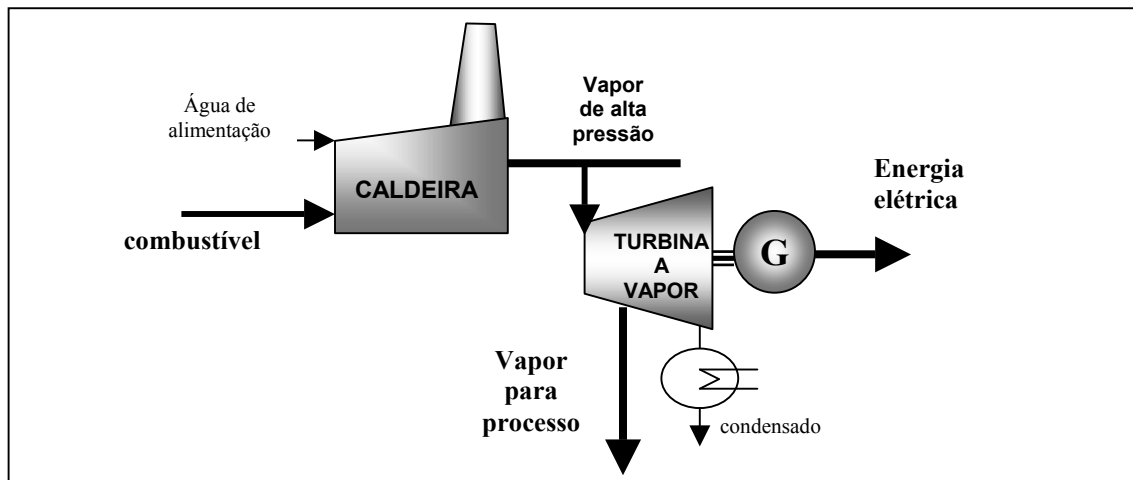


Figura 2 Co-geração com ciclo de Rankine

O vapor que sai da turbina é utilizado para atender à demanda de energia térmica do consumidor. Uma vantagem dessa concepção é a possibilidade de uso de elenco de diferentes combustíveis, tais como gás, lenha, carvão, bagaço de cana, cascas de arroz, óleo combustível, resíduos orgânicos em geral, etc. Os sistemas de potência a vapor estão mais detalhados no ANEXO 1 desta apostila.

Por outro lado, o projeto conceitual que apresenta mais eficiência é o da turbina ou motor a gás associados a uma caldeira de recuperação.

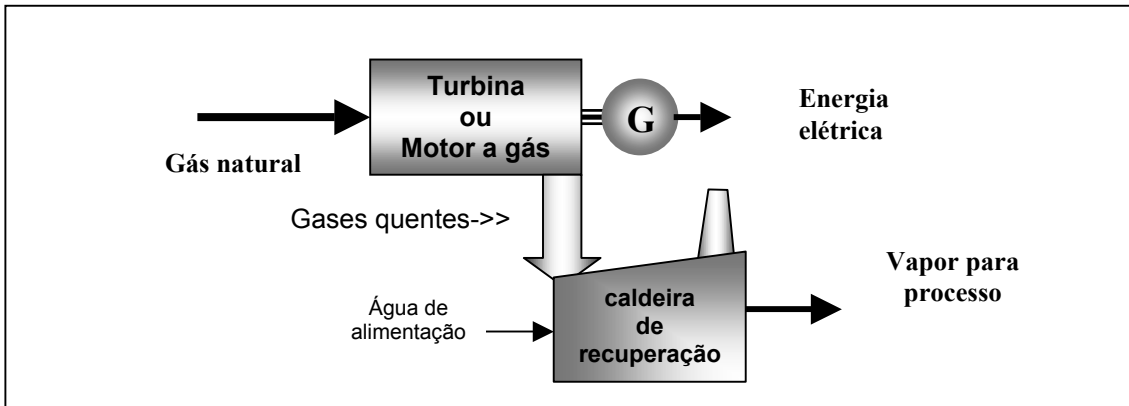


Figura 3 Co-geração com turbina ou motor

Na figura 3, o combustível é queimado na câmara de combustão de uma turbina ou detonado nos cilindros de um motor a pistões, que acionam o gerador. Os gases de combustão, quentes, rejeitados pelas máquinas (turbina ou motor) são então conduzidos a um equipamento de recuperação do calor, que utiliza o calor sensível deste “sopro quente” para gerar vapor.

Por exemplo, uma turbina a gás natural descarrega grande quantidade de ar com cerca de 2% de dióxido de carbono, a 500 °C ou mais, e esse "sopro quente" pode produzir vapor saturado seco de 10 atm de pressão a 180°C. Com isso, o aproveitamento da energia contida no gás natural pode chegar a 80%, enquanto que gerando apenas energia elétrica ficaria em torno de 30%.

Dependendo das necessidades energéticas do cliente, existem diversas configurações possíveis além das mostradas nas figuras acima. Nas figuras 4, 5 e 6 a seguir mostramos algumas delas.

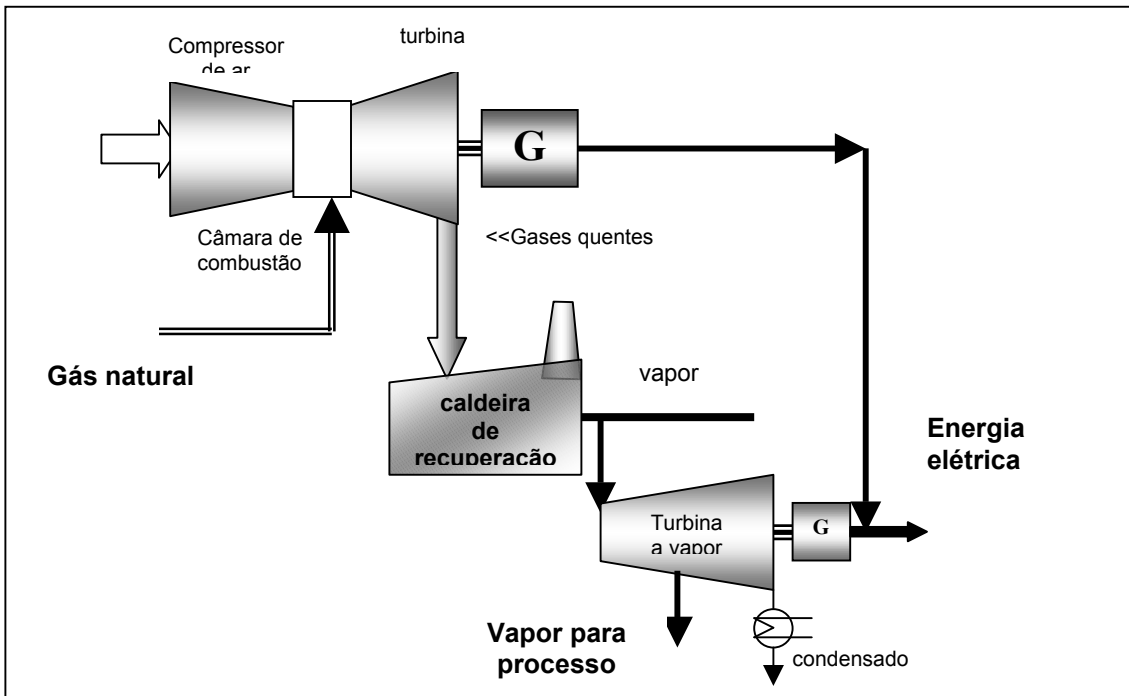


Figura 4 Co-geração com ciclo combinado para consumidores com baixo consumo de vapor

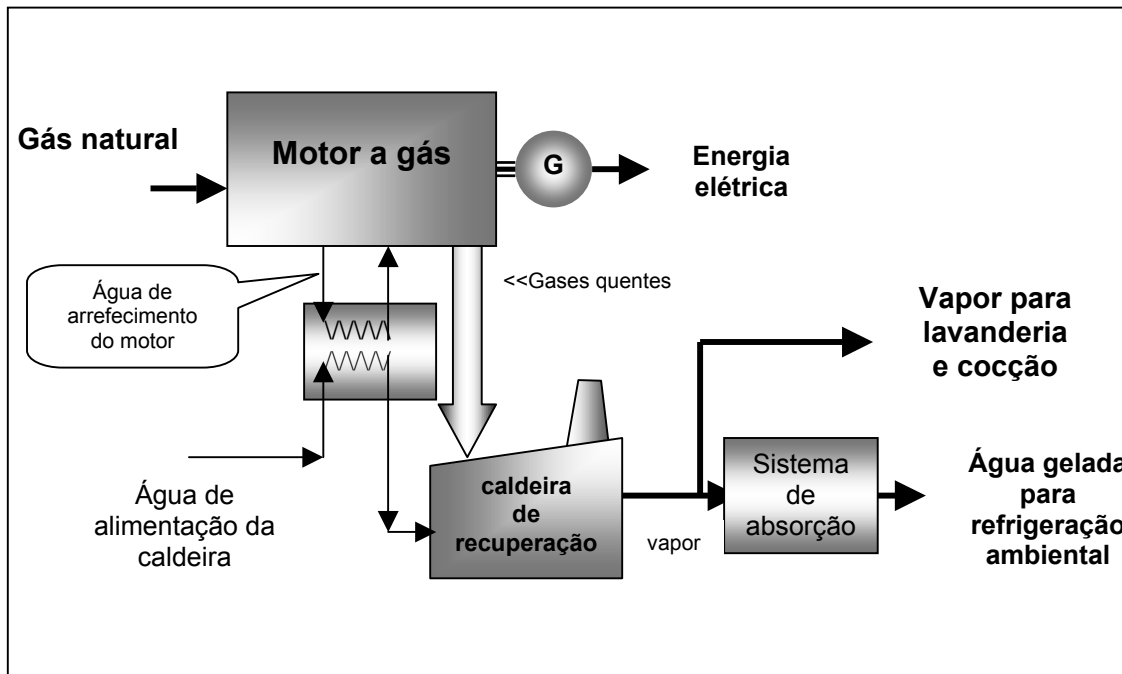


Figura 5 Configuração possível para o setor de serviços (hotéis, hospitais, shopping centers e aeroportos)

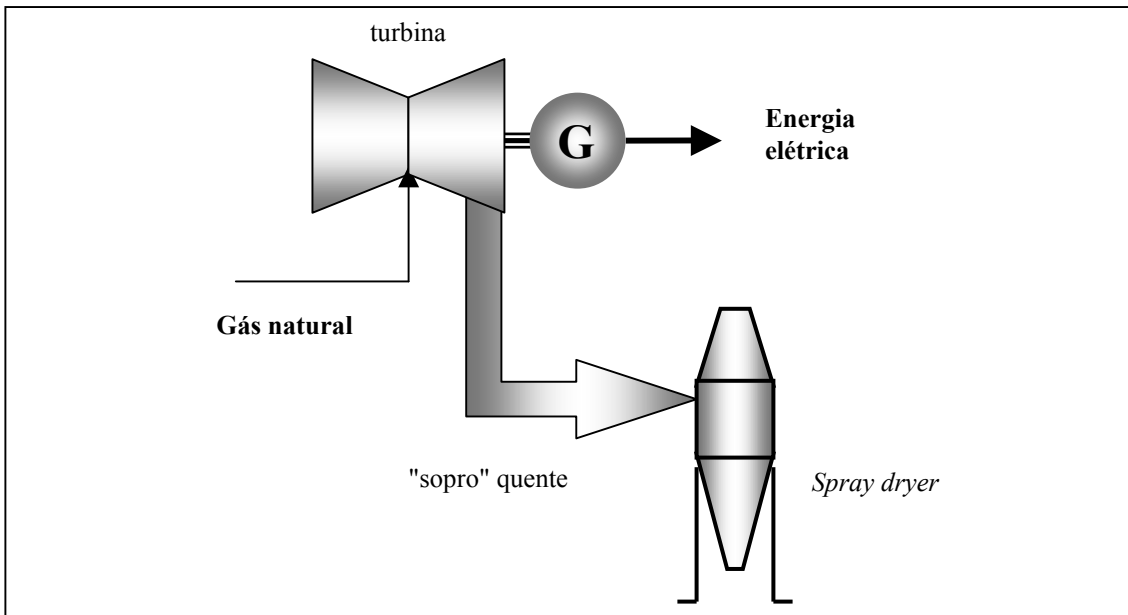


Figura 6 Configuração típica de uma planta de cerâmica branca

No capítulo III, mais à frente, apresentamos detalhes sobre os equipamentos e subsistemas mais importantes na composição dos sistemas de co-geração. Esses detalhes nos interessam na medida em que nos ajudam a compreender os aspectos econômicos envolvidos na escolha dos componentes e da configuração na fase de projeto conceitual, bem como fatores operacionais que influenciam os resultados (e possíveis benefícios) que o sistema implementado deverá apresentar ao longo da sua vida útil. No capítulo IV, de análise econômica, essas informações serão úteis.

2) Combustíveis utilizados

Conforme já citado, a co-geração se apresenta como forma de aproveitamento máximo do conteúdo energético tanto de combustíveis do tipo fóssil como dos do tipo biomassa.

Os combustíveis fósseis mais comuns são:

- sólidos: carvão, turfa
- líquidos: derivados de petróleo tais como gasolina, óleo combustível, óleo diesel, querosene
- gasosos: gás natural, gás de refinaria, gás de coqueria etc.

O carvão pode dar origem a gás por gaseificação.

Os combustíveis biomassa mais comuns são:

- sólidos: lenha, bagaço de cana, casca de arroz, cavaco de madeira etc.
- líquidos: biodiesel, álcool, licor negro (resíduo da produção de celulose) etc.
- gasosos: resultantes da decomposição de lixo orgânico ou esgoto sanitário, ou da gaseificação do bagaço de cana.

As caldeiras geradoras de vapor para co-geração podem ser fabricadas para utilizar praticamente qualquer combustível. Porém as turbinas e os motores a pistões exigem combustíveis mais puros e fluídos. Nesse caso pode-se utilizar gases, óleo diesel, gasolina, querosene de aviação, e, em último caso, o óleo combustível.

Atualmente o combustível que reúne as melhores condições comerciais e de qualidade (energética e ambiental) é o gás natural. Se o século XIX foi o do carvão e o século XX foi o do petróleo, na era industrial, o século XXI deverá ser o do gás natural. Na tabela 1 abaixo o gás natural é comparado com outros combustíveis quanto a conteúdo energético e nos gráficos das figuras 7a , 7b e 7c se pode perceber claramente a superioridade do gás natural quanto aos níveis de emissões de poluentes. No ANEXO 4 mostramos uma tabela com dados energéticos de todos os combustíveis considerados no Balanço Energético Nacional (BEN).

Tabela 1

FONTES ENERGÉTICAS	<u>Volume Equivalente de GN (m³)</u> m³ de Fonte deslocada	<u>Volume Equivalente de GN (m³)</u> ton de Fonte Deslocada
Óleo Cru	1002	1160
Lenha Catada	105	351
Lenha	137	351
Óleo Diesel	974	1144
Óleo	1087	1073
Gasolina	886	1194
GLP	690	1250
Nafta	845	1204
Carvão Vegetal	181	723
Álcool Hidratado	572	707
Metanol	459	577

Fonte: www.gasnet.com.br

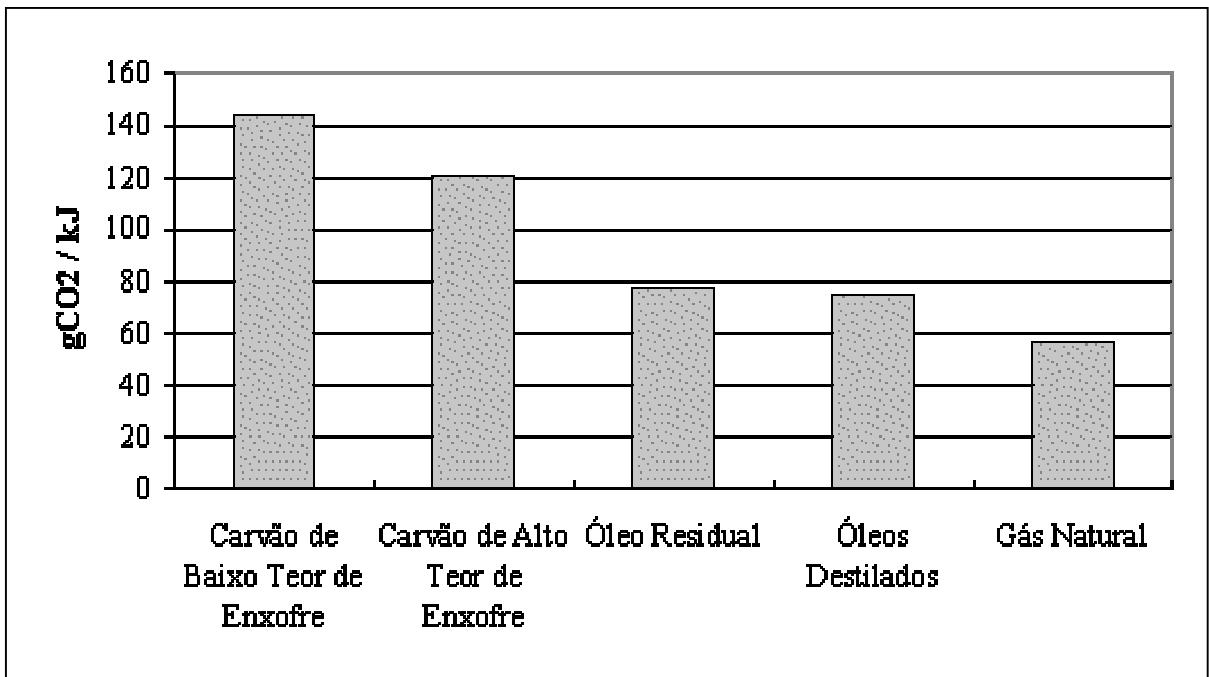


Figura 7a - níveis de emissões de dióxido de carbono *Fonte:www.gasnet.com.br*

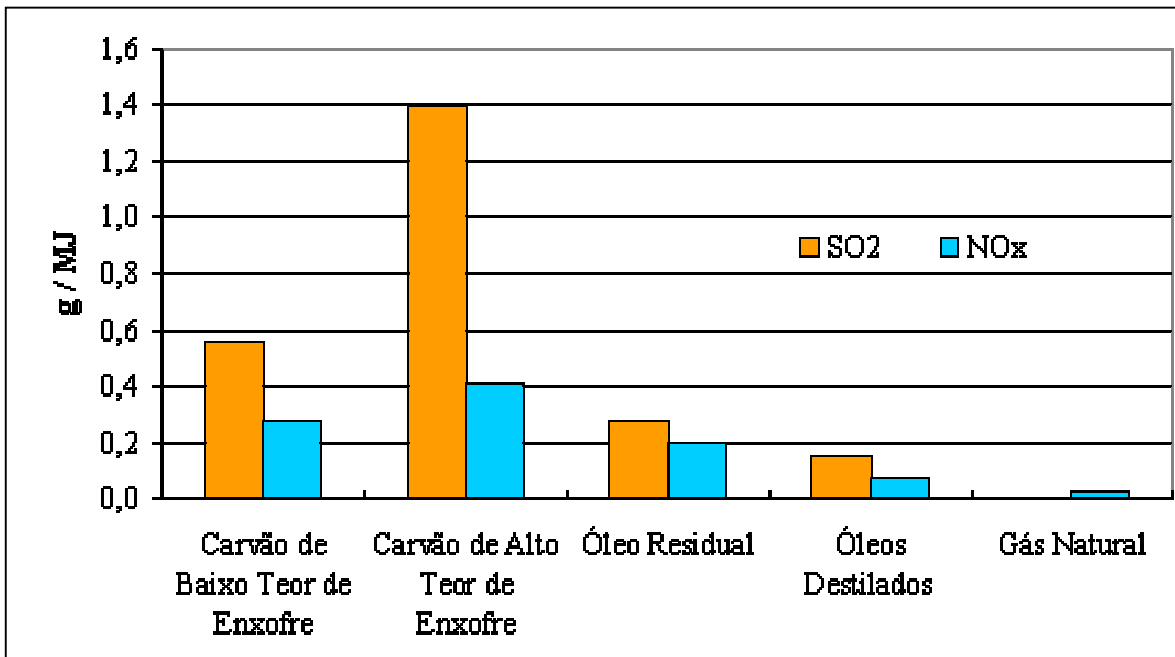


Figura 7b - níveis de emissões de dióxido de enxofre e de óxidos de nitrogênio *Fonte:www.gasnet.com.br*

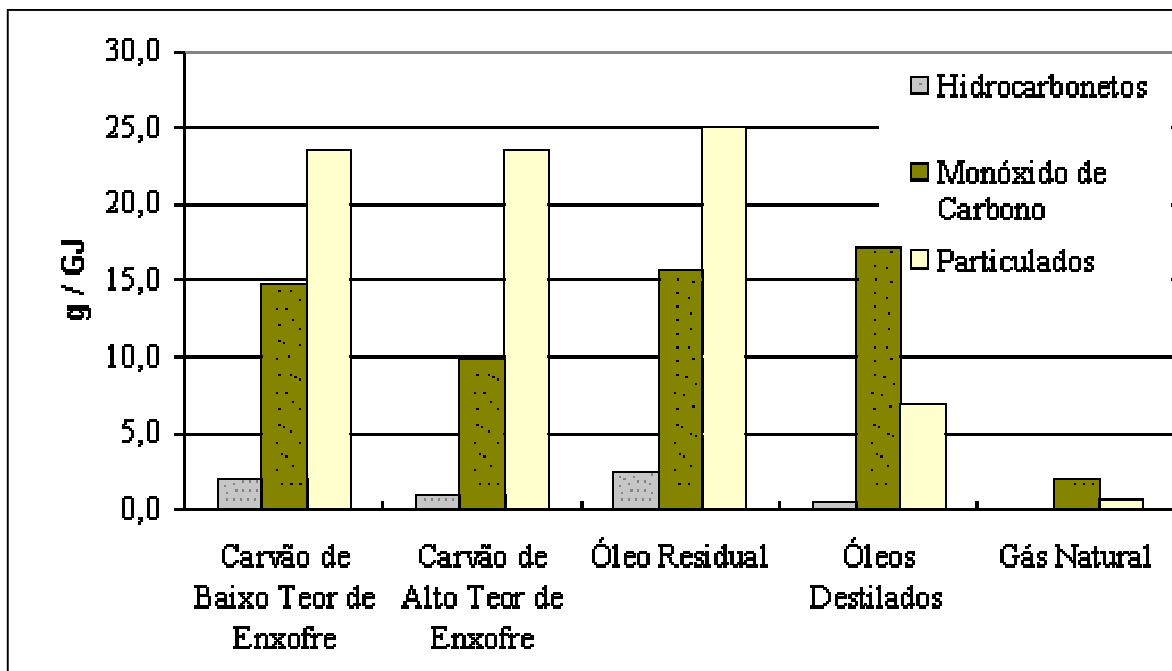


Figura 7c – níveis de emissões de hidrocarbonetos (não queimados), CO e particulados
 Fonte:www.gasnet.com.br

III)Equipamentos e ciclos térmicos

1)Turbina e motor a gás

Trata-se aqui do que é considerado o principal equipamento de um sistema de co-geração. Tanto a turbina (figura 8) quanto o motor a gás (figura 9) têm basicamente a mesma função: transformar a energia proveniente da combustão em energia mecânica. Esta será em seguida aproveitada para acionamento de um gerador elétrico, ou de um compressor ou qualquer outra máquina que exija um acionador.

Outra semelhança entre os dois acionadores é a produção de grande quantidade de energia térmica. No caso da turbina a gás, essa energia térmica se apresenta totalmente em forma de gases de combustão na descarga, gases esses constituídos principalmente de ar e de CO₂. No motor a gás, a energia térmica produzida se apresenta nos gases de descarga e na água de arrefecimento, além de uma quantidade menor no retorno do óleo lubrificante.

Numa turbina a gás, de toda a energia disponível no combustível obtém-se entre 22 e 35% de energia elétrica nos bornes do gerador acionado, enquanto que num motor a gás a faixa é um pouco maior, podendo-se obter até cerca de 40% em energia elétrica em

potências em que a turbina não alcança 30%. Nesse aspecto se verifica, portanto, uma vocação maior do motor a gás para um perfil de demanda de energia em que prepondera a demanda elétrica. Por outro lado, não há no mercado motores a gás acima de 5 MW, pois, pela sua concepção mecânica, suas dimensões trazem dificuldades físicas para o projeto. Já no caso das turbinas, existem desde pequenas potências como 600 kW até as grandes, de 300 MW.

A turbina leva vantagem do ponto de vista térmico na medida em que quase toda a energia disponibilizada pela queima do gás e não transformada em energia mecânica é descarregada nos gases, em maior temperatura do que nos motores a gás, pois uma das principais funções do ar é refrigerar o equipamento. Nelas, a temperatura dos gases exaustos fica na faixa de 450 a 900 °C, sendo que nos motores ela fica entre 300 e 500°C.

Por outro lado, os motores disponibilizam energia térmica em boa parte na água de arrefecimento, que nem sempre pode ser totalmente aproveitada, pois exige permutador de calor em vista da possibilidade de contaminação. Este fator reduz o rendimento, pois ela não se situa numa faixa de temperatura alta (em torno de 100°C).

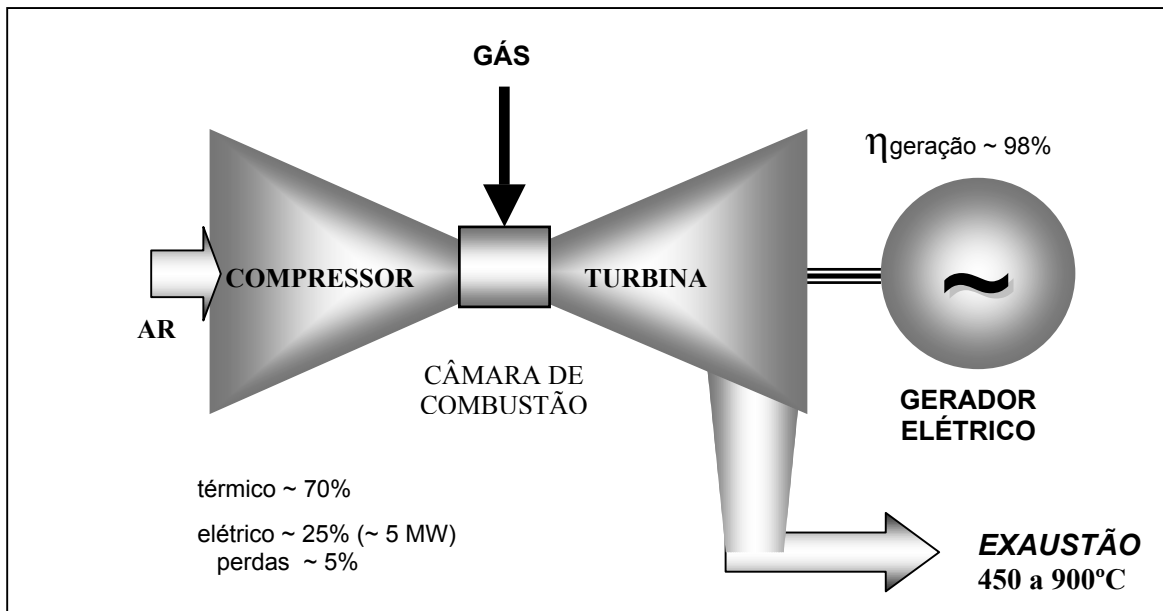


Figura 8 Turbina a gás

A turbina costuma apresentar um preço de aquisição maior do que o motor, para a mesma potência, entretanto, o maior nível de vibração no motor, pela sua concepção, pode requerer maiores investimentos na estrutura civil da planta.

Em resumo, os dois têm vantagens e desvantagens, e para cada caso estudado deve-se avaliar a conveniência de se optar por um ou por outro.

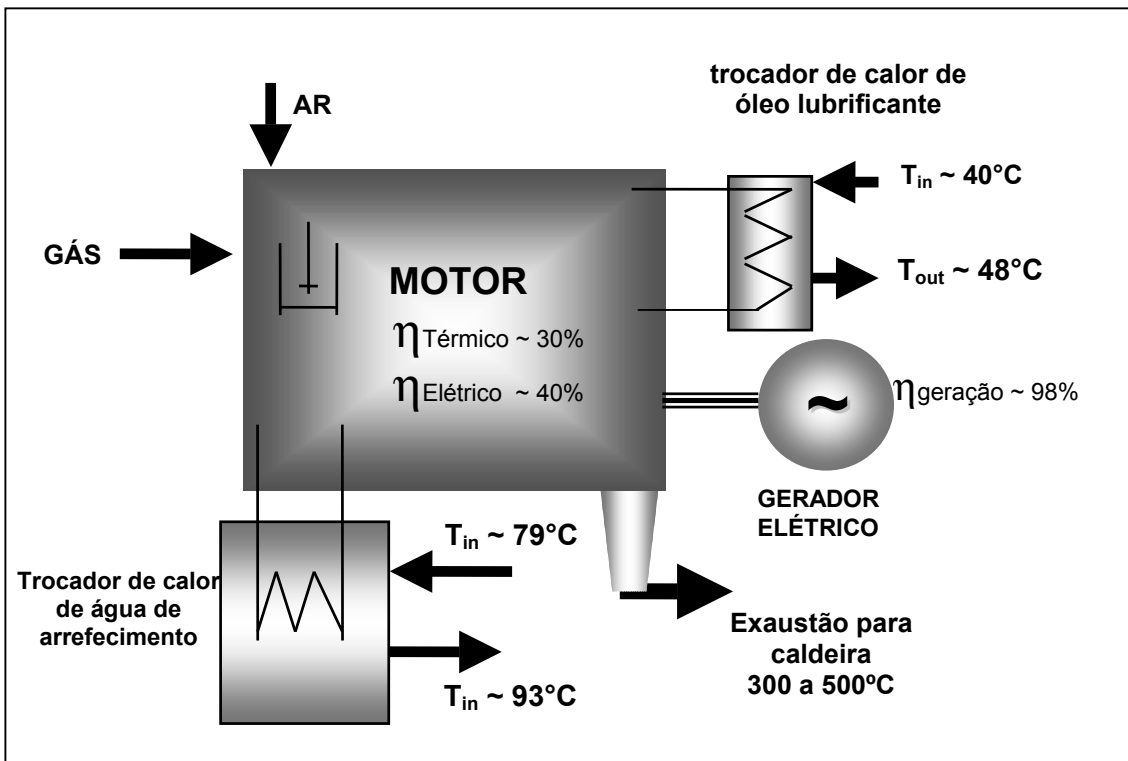


Figura 9 Motor a gás

Uma vantagem importante do motor sobre a turbina é que os gases de exaustão do primeiro contêm grande percentual de dióxido de carbono, ao contrário da turbina, cujo potencial deste gás fica em torno de 2%, devido ao excesso de ar para sua refrigeração. Isso torna o motor atrativo em empresas que utilizam esse gás inerte, como é o caso da indústria de refrigerantes.

No ANEXO 2, desta apostila, os sistemas de potência a gás (ou diesel) estão mais detalhados.

2) Compressor de gás

A necessidade de um compressor para o gás a ser utilizado no sistema de co-geração depende basicamente de dois fatores: a pressão de fornecimento pela distribuidora de gás e o tipo de acionador. As turbinas costumam exigir maior pressão para o gás, na faixa de 15 a 20 kg/cm². Já os motores funcionam bem com baixas pressões do gás, na faixa de 4 a 8 kg/cm².

De qualquer forma, esse é um aspecto que precisa ser considerado na fase de avaliação econômica do projeto, pois um compressor para o gás pode ter peso razoável no cálculo do investimento, frente a outros equipamentos.

3) Caldeira de recuperação

É o equipamento destinado a aproveitar o calor do exausto, da turbina ou do motor a gás, para gerar vapor (figura 10). Os gases quentes são conduzidos da descarga do

acionador para a caldeira por duto e entre os dois equipamentos precisa ser instalada uma válvula *diverter* que é na realidade um *damper* e um desvio para uma chaminé (de *by pass*) que permitem controlar a massa de gases destinada à caldeira ou, eventualmente, à uma operação exclusiva do gerador, sem a caldeira. Os gases quentes atravessam a caldeira, envolvendo as serpentinas de água que se vaporiza e, neste estado, sobe para o “tubulão” superior do qual é extraído para nova passagem por serpentinas internas, visando torná-lo seco ou até superaquecido, e finalmente sair para utilização.

A caldeira de recuperação se caracteriza por ter a transferência do calor realizada principalmente através de convecção. Entretanto, é possível aumentar a eficiência da geração de vapor instalando caldeira de recuperação com maçaricos para queima adicional, o que introduz um maior nível de radiação na transferência do calor. As caldeiras de recuperação sem queima adicional costumam apresentar uma eficiência entre 70 e 80%, e com queima adicional pode passar de 90%. Essa eficiência cai se a caldeira estiver suja, carecendo de uma parada para manutenção, se ela tiver tempo de vida elevado, ou se os gases quentes tiverem uma temperatura insuficiente. A turbina, nesse caso, tem vantagem sobre o motor.

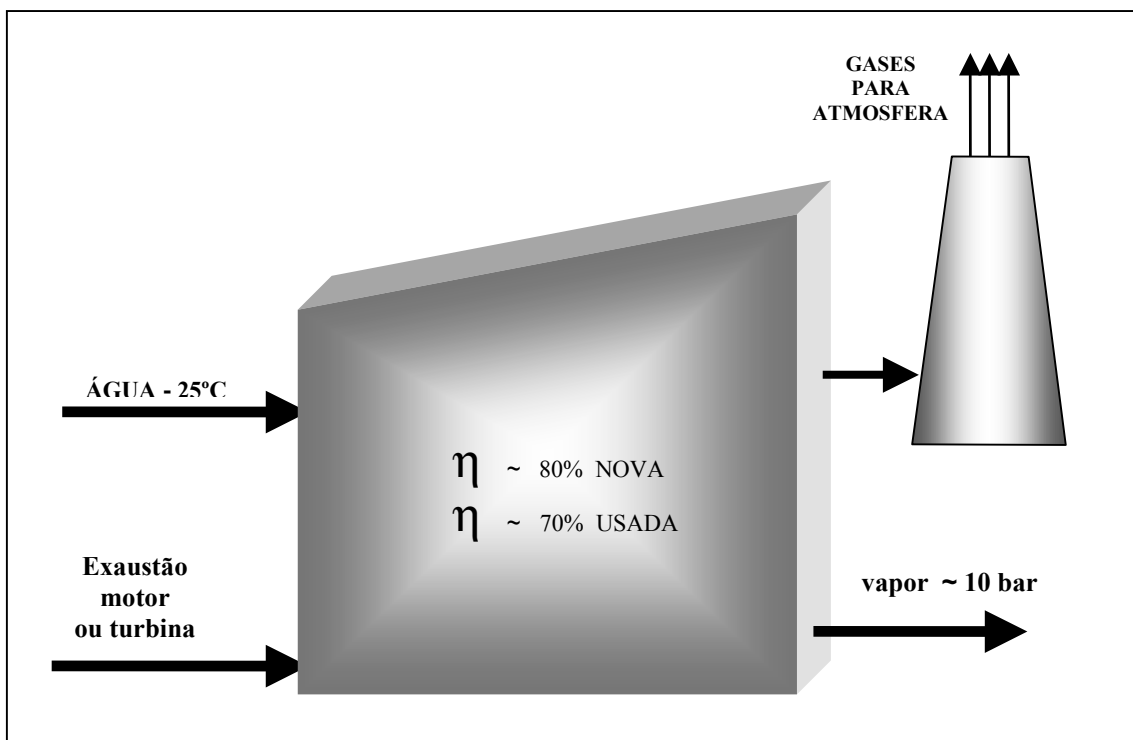


Figura 10 Caldeira de Recuperação de Calor

4) Gerador de água gelada

Os sistemas de refrigeração usualmente encontrados podem ser usados para conforto ambiental (ar condicionado) ou para conservação de alimentos (frigoríficos).

No primeiro caso, de sistema central, tem-se usado circuitos de água gelada, que normalmente é resfriada a cerca de 5°C num sistema de compressão (figura 11). Neste sistema um gás, usualmente o freón, é comprimido num compressor acionado por motor elétrico e expandido numa câmara na qual ele retira o calor nessa expansão. No interior

dessa câmara estão as serpentinas por onde circula a água que retorna do circuito após passar por uma torre de refrigeração (a água ou a ar). A água gelada sai do resfriador, e vai para o circuito no qual atravessa as colméias dos radiadores externamente às quais passa o ar da ventilação forçada dos ambientes a refrigerar (*fan coils*).

O *chiller* de absorção (figura 12) também utiliza o fenômeno da retirada de calor de um ambiente no qual se provoca a expansão de um fluido. A diferença está no processo, que no *chiller* de compressão é físico e no de absorção é físico-químico. A expansão, num dos diversos tipos existentes, seria da água ao penetrar numa câmara contendo solução concentrada de um sal, como o brometo de lítio, que apresenta alta afinidade com água. A absorção pela solução concentrada da água que entra, mantém uma baixa pressão na câmara, que propicia a expansão e, conseqüentemente, a retirada de calor de um fluido aquecido que circule numa serpentina instalada no seu interior. A solução agora menos concentrada é retirada para outro compartimento no qual é aquecida (pela fonte de calor que é o *input* de energia) vaporizando a água e se tornando novamente concentrada, retornando à câmara de expansão, a qual receberá novamente a água resultante da condensação do vapor produzido nesse aquecimento.

Quando se concebe um sistema de co-geração para uma instalação de utilidades que inclui fornecimento de refrigeração ambiental, há uma preferência em optar por uma *chiller* de absorção, em substituição ao tradicional *chiller* por compressão, descrito acima. Isso por que, enquanto este último se apresenta como carga elétrica, o outro (de absorção) é carga térmica, visto que este equipamento é suprido por vapor, gases quentes ou água quente. Na realidade, o sistema por absorção tem como principal virtude o fato de depender pouco de energia elétrica. Em certos casos, ele independe totalmente, em sistema pequenos, como geladeira doméstica (muito usada no interior, onde é precária a eletrificação, consumindo GLP ou querosene). Apesar de ter uma eficiência menor do que o convencional por compressor, o sistema de absorção viabiliza o de co-geração na medida em que desloca para a parcela de demanda térmica o que seria uma demanda elétrica, melhorando o balanço termoelétrico. O efeito de refrigeração (coeficiente de eficácia) de um sistema por absorção é cerca de quatro vezes menor do que o de um sistema por compressor. Cada TR (tonelada de refrigeração) demandada pelo ambiente faz um sistema por compressores exigir cerca de 0,9 kW do acionador. Se for utilizado um sistema de absorção, a demanda equivalente sobe para 3,5 kW. Porém, como o sistema de absorção consome uma energia que seria desperdiçada caso não houvesse co-geração, essa diferença se compensa. Em termos de custo, o *chiller* de absorção é um pouco mais caro do que o de compressão. Entretanto, o sistema de refrigeração ambiental como um todo, tirando o *chiller*, é praticamente o mesmo para os dois tipos. No final, a diferença entre uma alternativa e outra acaba pesando pouco na decisão.

5) Painel de sincronismo e paralelismo

A co-geração de energia é uma forma de auto-produção de eletricidade com aproveitamento da energia térmica. Entretanto, não é uma boa prática ficar desconectado totalmente da fonte original, visto que já existe toda uma instalação, da concessionária e do usuário, que não deve ser desprezada. Além disso, o sistema de co-geração pode parar, seja por falha eventual seja por parada programada para manutenção. Por isso, é preciso prever um *back-up*, que seria o aproveitamento da instalação existente (figura 13), para receber energia elétrica da concessionária, instalando-se um painel para manter sincronizadas as duas fontes (gerador e barramento de entrada da energia comprada) para substituição eventual ou planejada sem interrupção, além de um contrato específico que estabelecesse as tarifas adequadas para a nova situação.

Existe um tipo de tarifa, na maioria das concessionárias, que atende a essa forma de contrato que é a Tarifa de Emergência. Por ser esta hoje considerada alta, pode-se também negociar a DSR (demanda suplementar reserva, ver cap. IV tópico 4.3) compondo as tarifas normais e de emergência. Ou seja, se for de interesse da concessionária, pode-se contratar o fornecimento para paralisações inesperadas pela tarifa de emergência, e a parada programada pela tarifa normal. Hoje, pela nova regulamentação do setor elétrico, o auto-produtor qualificado como co-gerador pode adquirir a energia no mercado e contratar com a concessionária local apenas o uso do sistema de distribuição, com tarifas reguladas e com um fator de desconto para utilização em até doze vezes por ano.¹

Quanto ao painel de sincronismo, ele pode pesar mais na formação do custo do investimento, se for o sistema concebido com a utilização de mais de um acionador para aumentar a confiabilidade e, conseqüentemente, reduzir o custo da DSR. Será preciso avaliar se vale à pena reduzir o investimento mas aumentar o custo operacional.

¹ res. Aneel 371/1999).

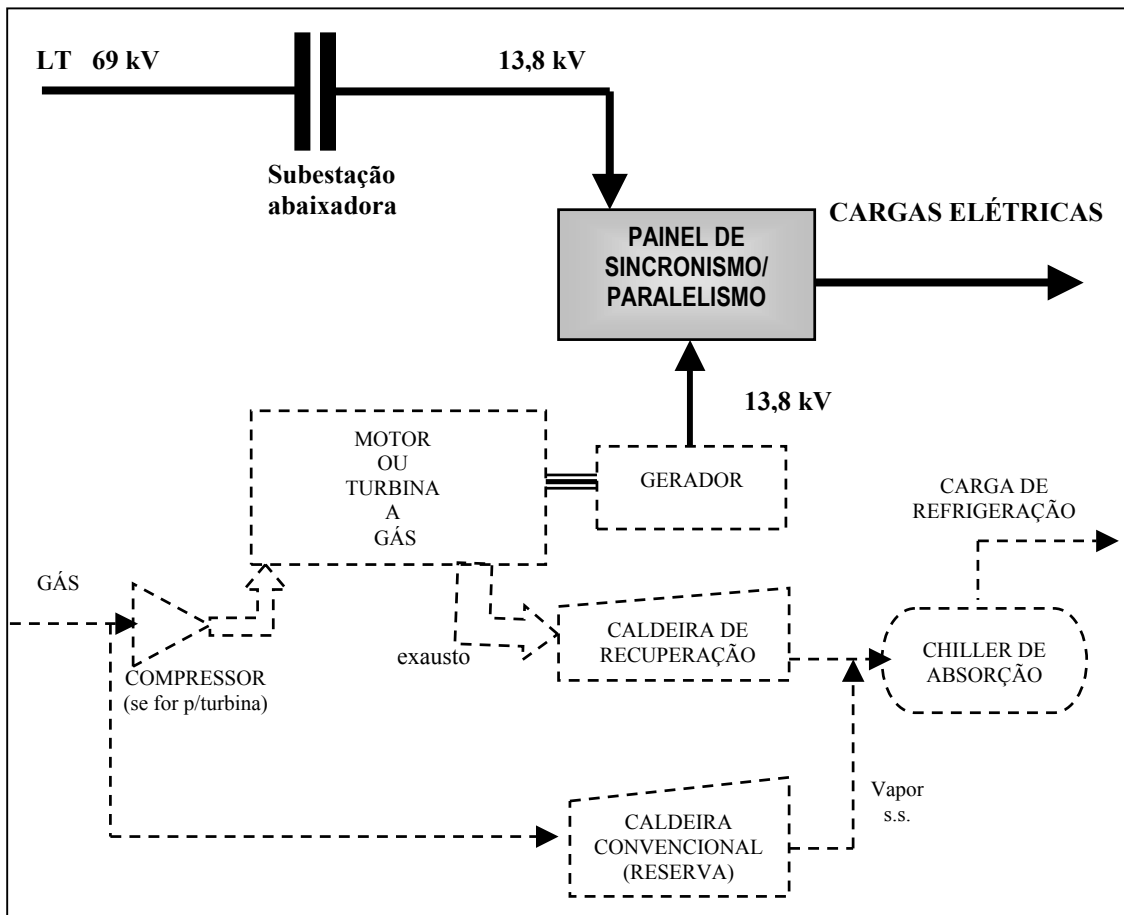


Figura 13 - Painel de sincronismo e paralelismo num sistema de co-geração

6) Turbinas a vapor

Sua aplicação maior é em sistemas de co-geração *bottoming* ou em ciclo combinado. O princípio de funcionamento é similar ao da turbina a gás, só que o vapor, superaquecido, já entra na turbina com a energia que precisa para acionar os rotores (figura 14). O vapor pode ser retirado ainda com pressão e temperatura para ser utilizado no processo, ou no estado chamado "exausto", em que está saturado e pronto para entregar seu calor latente e se tornar líquido (água) no condensador. Uma importante vantagem da turbina a vapor, quando comparada com a turbina a gás, é a sua baixa necessidade de manutenção, pois recebe um fluido em temperatura não muito alta e limpo e, se este for sempre seco e a turbina tiver manutenções preventivas freqüentes e manutenção preditiva², sua vida útil pode ser de várias décadas.

² Manutenção sob condição, ou seja, decidida em função de inspeção prévia.

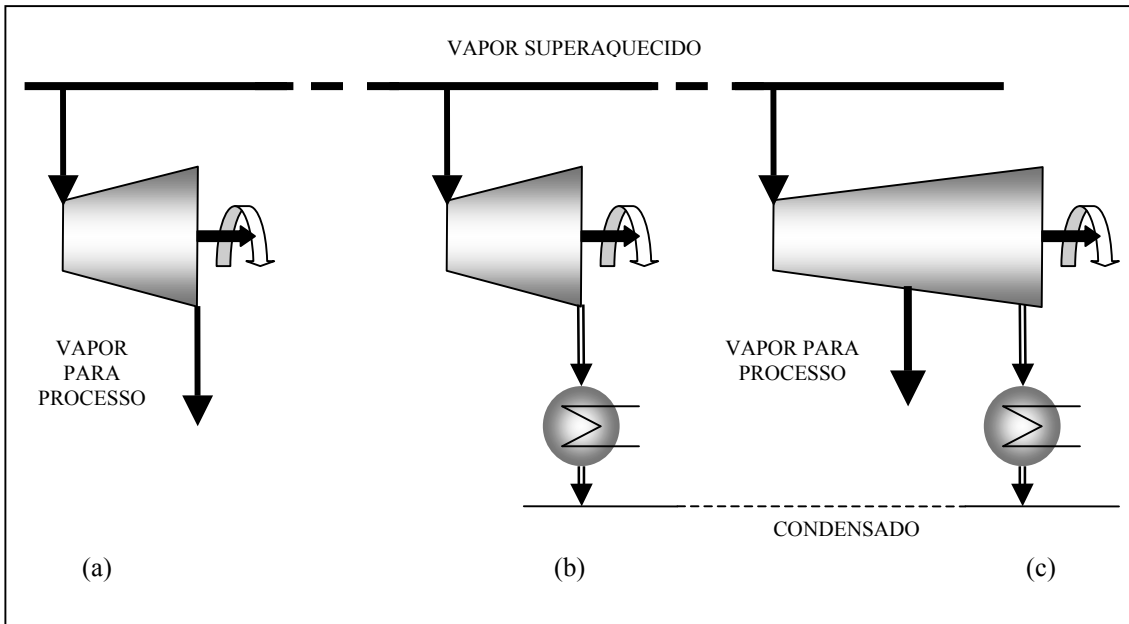


figura 14

- a- turbina de contrapressão
- b- turbina de condensação
- c- turbina de condensação com extração

No ANEXO 3 (Co-geração com turbinas a vapor) esse tópico está mais detalhado.

IV) Viabilidade

1) Aplicabilidade do ponto de vista técnico

Em princípio, a co-geração é aplicável a qualquer instalação na qual se necessita das duas formas de energia citadas anteriormente: energia elétrica e energia térmica. A demanda térmica pode ser calor direto (“sopro” quente), vapor, água quente, óleo quente e refrigeração. Esta última pode ser obtida a partir da energia elétrica, e nesse caso se traduz em demanda elétrica. Porém a co-geração traz de volta o sistema de refrigeração por absorção, que gera água gelada a partir de uma fonte quente, mais usado em lugares que não dispõem de eletricidade. Traz de volta no sentido de que por ser a co-geração uma alternativa de auto-produção em instalações nas quais existe grande demanda térmica em relação à demanda elétrica, a substituição do sistema de refrigeração com compressores, acionados por motores elétricos, por sistemas de refrigeração por absorção alimentados por vapor, água quente, “sopro” quente ou queima direta, favorece o balanço termelétrico desejável para viabilizar economicamente a co-geração.

Para a alternativa de co-geração encontrar aspectos que a viabilizem tecnicamente é conveniente que o cliente tenha demanda de energia térmica (vapor, calor ou frio) pelo menos duas vezes maior do que a equivalente de energia elétrica. Essa relação pode mudar um pouco mas, por exemplo, uma fábrica que consome cerca de 5 MW de energia elétrica e cerca de 15 toneladas por hora de vapor estaria numa posição muito favorável para adotar co-geração³. Isso ocorre porque a relação entre energia elétrica e energia térmica geradas via turbina ou motor se mantém aproximadamente constante e elas precisam ser aproveitadas ao máximo para garantir a alta eficiência do sistema. Entretanto o uso de queima suplementar na caldeira ou de *chillers* elétricos pode ajudar a ajustar a relação de demandas (elétrica e térmica) do cliente à relação entre as potências térmica e elétrica co-geradas.

Outro fator que deve ser levado em conta na avaliação técnica da aplicabilidade de um sistema de co-geração é a temperatura do “sopro” quente a ser aproveitado. Se a opção for a configuração em que se gera inicialmente energia elétrica por um acionador a combustão, a temperatura dos gases exaustos pode chegar a 450° C, no caso de motores, ou a 550° C no caso das turbinas. Isso limita a aplicação dessa alternativa, que se tornaria inadequada para temperaturas muito acima dessa faixa, como é o caso, por exemplo, da indústria de vidro, em que a temperatura do processo está acima de 1000° Celsius. Já o setor de cerâmica branca, que possui secador para a pasta obtida pela mistura dos componentes minerais (argilas, saibro etc.) em base d'água, tem implementado co-geração com turbinas a gás natural nos países de grande tradição e importância no mercado mundial desse produto, como é o caso da Espanha e da Itália, exatamente porque as temperaturas dos processos de secagem (nos chamados *spray dryers* ou *atomizers*), normalmente por queima direta de gás, e o excesso de ar são muito próximos dos encontrados nos gases de descargas das turbinas, permitindo o total aproveitamento destes ao mesmo tempo que é gerada toda a energia elétrica demandada pela planta (BARONCINI e CHIARINI, 1995).

³ Se o vapor for de 10 bar saturado seco, o consumo de 15 t/h equivale a aproximadamente 11 MWth (megawatts térmicos).

2) Exemplos de aplicações

2.1) No setor industrial

2.1.1) Indústria do petróleo, petroquímica e química

Esse tipo de indústria se caracteriza por processos em que há grande demanda de energia térmica na forma de vapor, para acionamento por turbinas, ou para aquecimento ou ainda para introdução direta no processo, e também grande demanda de energia elétrica para acionamento de bombas, compressores, sopradores etc. O que encontramos normalmente nessas plantas é a co-geração aplicada na forma de geração inicial de vapor de alta pressão utilizado para gerar energia elétrica através de turbinas a vapor, e o vapor para o processo pode ser ou das turbinas de contrapressão ou de turbinas de condensação com extração. As figuras 2, 3, 4 e 15 (abaixo) mostram exemplos simplificados de instalações típicas desse tipo de aplicação da co-geração.

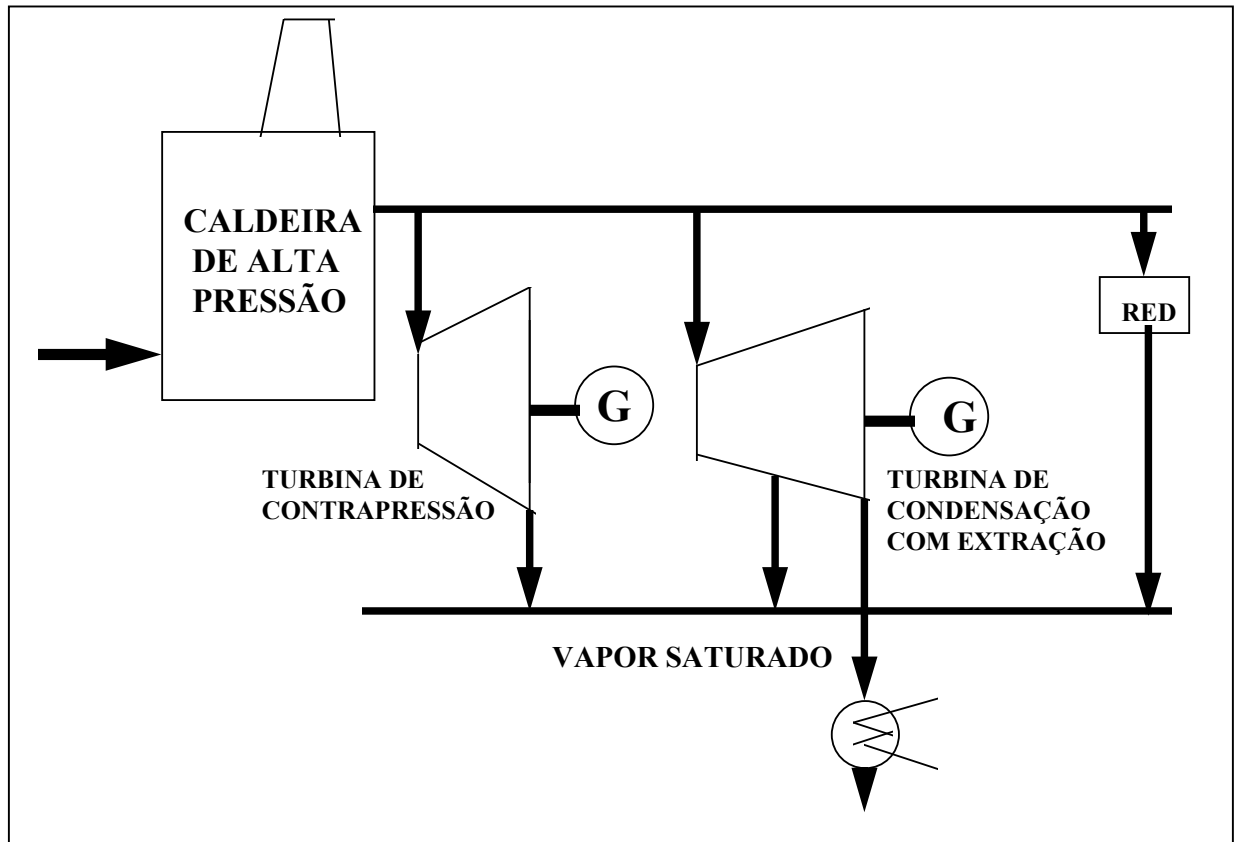


Figura 15

2.1.2) Indústria têxtil e de alimentos

Essas plantas costumam demandar, além de energia elétrica, energia térmica na forma de vapor e frio. Uma configuração possível poderia ser a da figura 16.

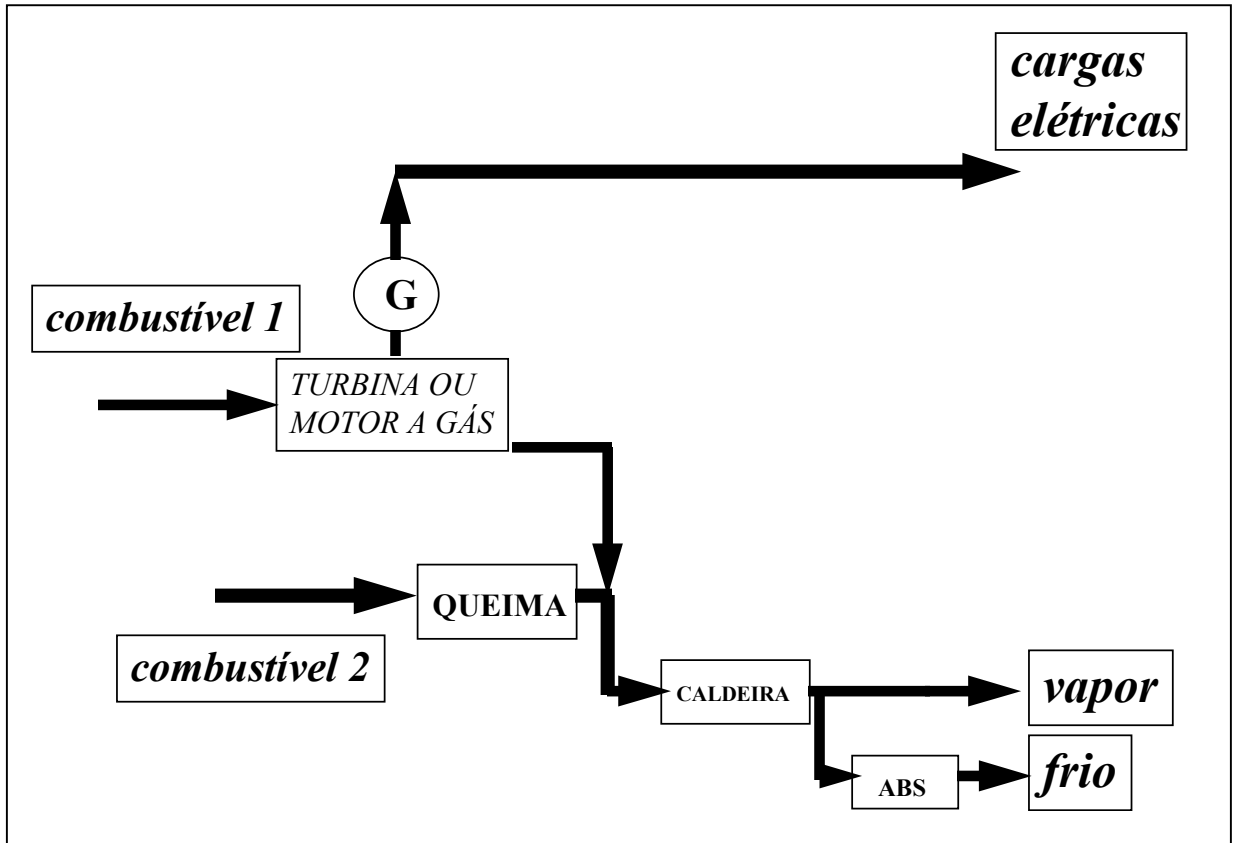


Figura 16

2.1.3) Indústria cerâmica branca

A planta de produção de cerâmica branca se mostra uma das mais favoráveis para utilização de co-geração. Isso porque ela demanda uma grande quantidade de calor, normalmente de gás queimado, numa temperatura, para secagem, compatível com a da exaustão de uma turbina a gás ou diesel. A configuração seria simplesmente a das figuras 6 e 17 (abaixo).

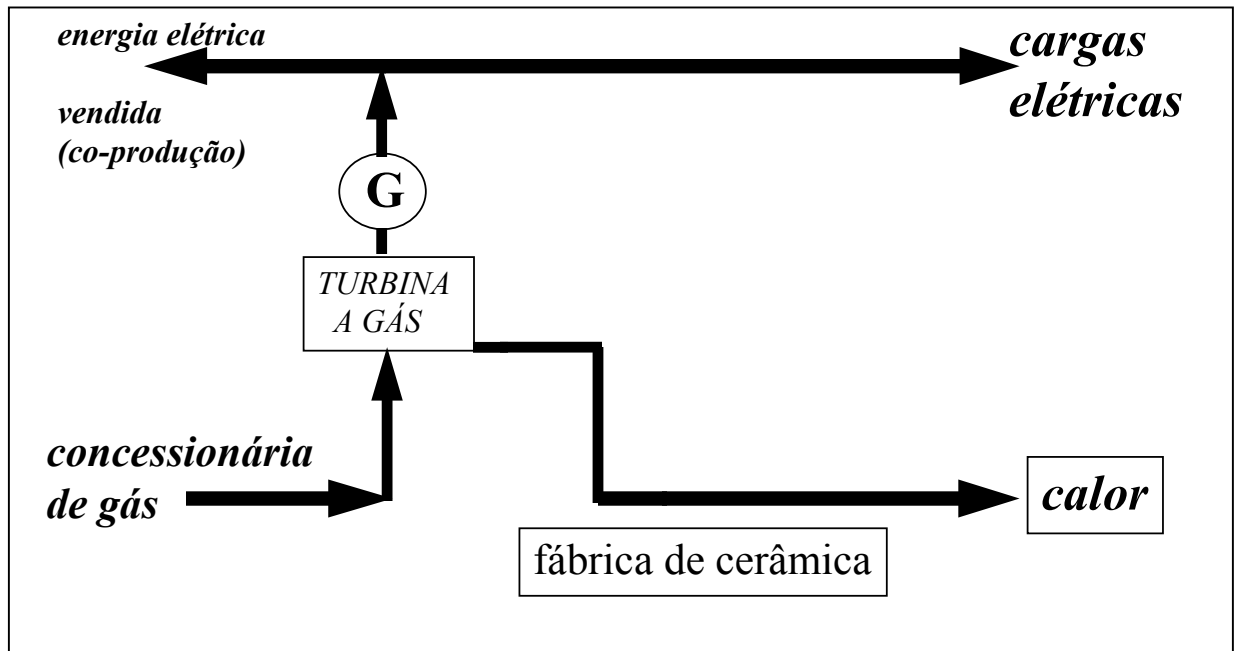


Figura 17

2.2) Setor terciário

2.2.1) Centros comerciais, *shopping-centers* e aeroportos

Essas instalações geralmente demandam muito ar condicionado, além da energia elétrica. Nem sempre se mostram como favoráveis para co-geração pelo fato de apresentarem demanda térmica de valor próximo à demanda elétrica. A configuração seria idêntica à mostrada acima para indústria têxtil, porém o vapor seria utilizado apenas no sistema de refrigeração por absorção. Outra alternativa que tem se mostrado interessante é a utilização de sistemas de absorção a calor direto, que dispensam o uso de caldeiras. Essa alternativa pode reduzir o custo do investimento, pela dispensa da caldeira de recuperação, apesar de ser esse tipo de *chiller* (absorção) mais caro do que o convencional a vapor.

2.2.2) Hotéis e hospitais

Essas instalações costumam demandar, além da energia elétrica, ar condicionado e água quente. Não sendo muito grandes, vemos uma configuração bastante favorável à utilização de motor a gás natural, pela vantagem de produzir água quente no seu sistema de arrefecimento a uma temperatura compatível com a necessária ao consumo. O desenho seria aproximadamente o da figura 18 ou o mostrado na figura 5.

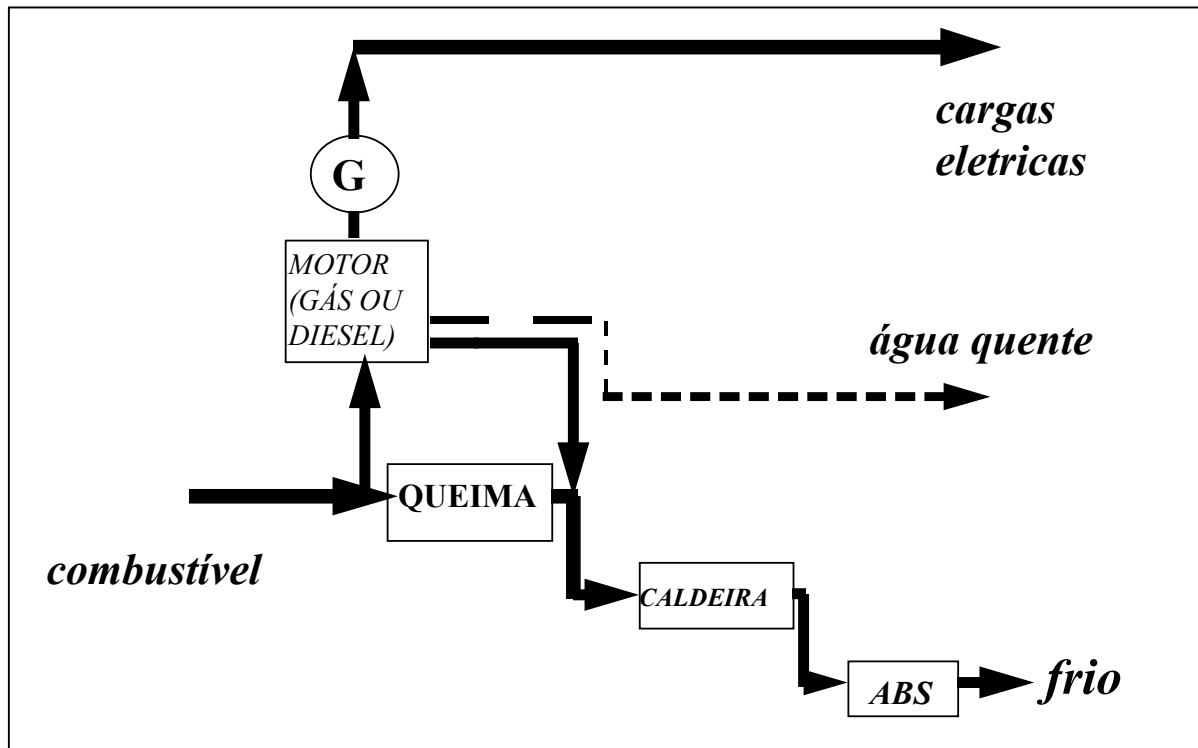


figura 18

3) A co-geração e o meio ambiente

A co-geração tem sido considerada uma solução energética benéfica para o meio ambiente, na medida em que:

- menos combustível fóssil é queimado para produzir a mesma quantidade de energia (elétrica + térmica), quando substitui as termelétricas convencionais;
- se torna economicamente viável utilizando gás natural, que é o combustível fóssil mais limpo (como vimos no capítulo II);
- os sistemas tradicionais existentes no Brasil, envolvendo os setores sucroalcooleiro, papel e celulose, siderúrgico, refino etc., aproveitam resíduos que impactariam negativamente o meio ambiente se despejados sem serem queimados;
- particularmente no setor sucroalcooleiro, a utilização do bagaço de cana e resíduos da colheita (palhiço) significa a queima de combustível renovável, cujo dióxido de carbono lançado como produto da queima é recapturado pelo replantio, evitando o aumento do efeito estufa (LA ROVERE, 2000).

Do ponto de vista ambiental há que se comentar que a auto-produção a gás natural, sob a forma de co-geração, só se apresenta como redutora de emissões quando promove a substituição do uso de energéticos mais poluentes. Aplicada ao setor comercial ou ao de serviços, que consomem apenas energia elétrica, não consumindo normalmente combustíveis mais poluidores como óleo, carvão etc., significa introdução de fonte emissora que não existia, no local da instalação. Num país onde predomina geração térmica de energia elétrica, que não é o caso do Brasil, a co-geração como a citada acima aumenta um pouco o impacto global pela perda de eficiência com planta menor, mas aumenta a diluição de outros componentes pela geração distribuída.

Estudo de caso realizado pelo autor, sobre projeto de planta no Rio de Janeiro, mostrou que as emissões de monóxido de carbono e de NO_x de plantas de co-geração com motores a gás natural de cerca de 5 MW podem chegar às de quase 50 ônibus ou caminhões a diesel, dependendo do motor utilizado. Se considerarmos que o centro da cidade do Rio de Janeiro teria um potencial de edifícios comerciais que contemplaria um número estimado de plantas como essa na ordem de 40, e se todas as implementassem, isso equivaleria a acrescentar mais 2000 ônibus circulando nesse local, do ponto de vista de poluição pelos gases estudados. Uma outra comparação que podemos fazer é que essas 40 plantas emitiriam NO_x em quantidade equivalente a 10% do que foi emitido por processos industriais e queima de combustíveis em fontes estacionárias em Cubatão em todo o ano de 1988.⁴ Algumas medidas mitigadoras poderiam ser tomadas para minimizar os impactos causados pelas emissões das plantas de co-geração. Uma delas é procurar instalar as plantas nas coberturas dos prédios, ou, se isto não for possível, levar a chaminé até lá, de modo a facilitar a dispersão dos gases. Outra forma, mais onerosa, seria instalar filtros nas chaminés para reter pelo menos parte das substâncias poluidoras. É preciso levar em conta também o problema do ruído, que pode ser reduzido pela utilização de cabines acusticamente isoladas.

4) Análise econômica

4.1) Objetivo da análise econômica

A análise econômica busca avaliar se um determinado usuário de energia (ou um grupo de usuários) apresenta condições técnicas e econômicas para adotar a co-geração como seu sistema de produção de utilidades.

Em outras palavras, qualquer que seja a motivação que o empresário tenha a buscar a co-geração, a análise verificará se a redução que se pode obter nos custos de aquisição da energia é suficiente para garantir um retorno adequado para o investimento a ser realizado.

4.2) Origem da vantagem do ponto de vista econômico

A principal vantagem econômica da co-geração está na possibilidade de uma empresa com grande demanda de energia térmica, consumindo combustíveis, atender à sua demanda de energia elétrica com um sistema que lhe dê auto-suficiência. Outra forma de ver a vantagem está em conseguir um custo de auto-produção de energia elétrica menor do que o obtido através da compra à concessionária mediante a redução do custo com combustível para atender sua demanda de energia térmica.

Como exemplo, uma empresa que compra gás (para queimar em caldeiras) e eletricidade, poderá deixar de comprar esta última e apenas aumentar sua demanda de gás em cerca de 30%. No entanto, isso não significa que haverá redução de custos, pois depende das tarifas de energia elétrica e de gás. Além disso, mesmo havendo redução de custos operacionais, é preciso avaliar se ela seria suficiente para suportar os custos do capital. Finalmente, e aí que está a dificuldade da decisão, é preciso encarar os benefícios como valores presentes de um fluxo de caixa ao longo de 15 ou 20 anos de vida útil da planta de co-geração, pois, em função das variações dos parâmetros econômicos que contêm incertezas, tais como tarifas, taxa de câmbio, tributos etc., é possível que em alguns períodos de tempo a planta dê lucro e em outros, prejuízo.

⁴CETESB, Relatório de Qualidade do ar na Região Metropolitana de São Paulo e em Cubatão, SP, 1988

4.3) Vocação para co-geração

Instalações industriais, comerciais ou de serviços podem, em certas condições, ter vocação para uma solução econômica via co-geração. Assim, plantas petroquímicas, fábricas de celulose ou papel, de tecidos, de cervejas e outros produtos alimentícios etc. são vocacionados para co-geração, ou seja, têm uma relação de demandas térmica e elétrica que favorece muito essa alternativa. Grandes hotéis e hospitais, além de grandes centros comerciais como *shopping centers* costumam apresentar vocação pelo fato de necessitarem de vapor, água quente e refrigeração ambiental, além de, é claro, energia elétrica. Nos países frios é muito utilizada a co-geração distrital, uma planta que gera energia elétrica, vapor e, em alguns casos, água gelada, para um grupo de consumidores restritos a uma pequena área, que podem ser residências, indústrias ou estabelecimentos comerciais.

Do conceito técnico de co-geração devemos destacar alguns aspectos que nos ajudam a ter uma idéia de em quais instalações de utilidades a alternativa pode vir a se viabilizar economicamente.

O equipamento acionador do gerador mantém uma relação quase constante entre energia mecânica produzida no eixo e energia térmica disponibilizada nos gases da descarga. Com base em dados de fabricantes⁵ essa relação é de cerca de 1:2 no caso de turbina a gás e cerca de 1,6:1 no caso de motor a gás. Isso significa que uma planta com demanda térmica com valor que seja o dobro da demanda elétrica (na mesma unidade de engenharia) tende a ter vocação para co-geração com turbina. Se a demanda elétrica for apenas um pouco maior do que a térmica, e dependendo do seu valor, é possível que motores a gás atendam e a co-geração se viabilize. Além disso as duas precisam apresentar alguma coincidência no tempo, para não haver excedente não aproveitado. Como já citado, o uso de queima suplementar na caldeira ou de *chillers* elétricos pode ajudar a ajustar essa relação de demandas.

Outro problema é que um turbo-gerador tem seu rendimento reduzido se operar a uma carga menor do que a nominal. Isso significa que, quanto mais estáveis forem as demandas de energia (térmica e elétrica) da planta, melhor para a co-geração. Uma alternativa possível para o problema de oscilação das demandas é produzir energia elétrica constante (em base) no sistema de co-geração e suprir a parte variável por compra da concessionária.

A abordagem acima tem um caráter basicamente técnico, apesar de impactar economicamente o resultado. No entanto, mesmo que tecnicamente a instalação atenda aos requisitos mostrados, nada disso terá efeito se as tarifas não forem favoráveis.

Assim, quanto mais o empresário estiver pagando pela energia elétrica, mais viável se torna a co-geração. Por isso um ponto que precisa ser analisado numa primeira abordagem é o tipo de contrato que o cliente tem com a concessionária de energia. Quanto maior for a tensão de suprimento mais barata é a energia. Por exemplo, em uma determinada concessionária um cliente A4 (recebendo em, digamos, 13,8 kV) pode estar pagando cerca de R\$ 200 /MWh na compra de energia. Um outro cliente A2 (recebendo em 138 kV) pode ter um custo de R\$ 100/MWh. Evidentemente que o primeiro tem muito mais chances de ter a co-geração viabilizada do que o segundo.

Outro aspecto é o custo de operação e manutenção que uma planta de co-geração requer. Indo ao extremo de um cliente como um *shopping center*, no qual o único consumo (sem auto-produção) é de energia elétrica (para suas demandas elétrica e térmica de ar condicionado) a implementação de uma planta de co-geração introduzirá um

⁵ Solar Turbines, Waukesha, Caterpillar etc.

custo adicional de operação e manutenção (e possivelmente de administração) que antes ele não possuía⁶.

Finalmente existe a DSR: Demanda Suplementar Reserva (ou *back-up*). Ao implantar a auto-produção, o cliente precisa ter uma fonte alternativa de energia elétrica para eventuais paralisações da sua máquina ou para as paradas de manutenção que podem ser de cinco a quinze dias por ano, dependendo do nível de intervenção. As concessionárias têm em suas tabelas as chamadas tarifas de emergência, nas quais a demanda contratada tem baixo custo, porém, quando há consumo a tarifa é altíssima (duas a três vezes maior do que a tarifa normal). Esse foi um ponto de grande discussão no mercado de energia, entre consumidores e fornecedores, pois em alguns casos a DSR podia definir a viabilidade de um projeto. Hoje, com a regulamentação⁷, já pode-se reduzir esse custo. Com base nela o co-gerador fica livre para comprar a energia de quem ele quiser, além de conseguir uma redução dos custos de uso do sistema de distribuição caso utilize o *back up* até doze vezes no ano. Evidentemente que esse não é um componente de peso, pois o preço do gás afeta muito mais o custo da energia. Entretanto não podemos esperar que todos os atores do mercado baixem seus preços para viabilizar a co-geração. Se fosse assim os bancos teriam que baixar suas taxas de juros, os fabricantes de equipamentos teriam que fazer o mesmo com seus preços e assim por diante. Para isso existe a regulamentação que, associada às regras de mercado, procura contemplar de forma equilibrada os interesses dos diversos agentes envolvidos nele.

4.4) Avaliação da viabilidade econômica de um projeto de co-geração

Se uma empresa apresenta uma relação entre energia elétrica e energia térmica demandadas, tecnicamente favorável à implementação de um sistema de co-geração, há grandes chances de a viabilidade econômica ocorrer. Porém, diversos outros fatores têm de estar presentes para que o benefício econômico, representado por um ganho obtido na redução de custos, venha a ser suficiente para propiciar retorno, em prazo compatível, ao investimento a ser realizado. Dentre os vários fatores podemos destacar:

- o custo total que será evitado (custo de energia elétrica comprada e custo de combustíveis na atual configuração);
- o custo do capital a ser aplicado ao investimento das novas instalações, incluindo-se aí tanto o capital próprio como o de terceiros (costuma ficar na faixa de 800 a 1200 US\$/kW instalado);
- a tarifa do gás os custos de operação e manutenção que os novos equipamentos irão exigir (na faixa de 3 a 8 US\$/MWh gerado) e
- o custo associado ao contrato de *back-up* de energia elétrica para cobrir paradas, programadas ou não, dos geradores.

Por outro lado, não é correto fazer uma avaliação estática dos resultados econômicos de uma planta em função de parâmetros que não são fixos ao longo do tempo, visto que todo investimento pressupõe uma vida útil em que o resultado final é o resultado líquido de toda esta vida útil. Há de se fazer portanto uma análise mais refinada na qual deverão entrar projeções de valores para parâmetros tais como tarifas de energia elétrica, preços de combustíveis, taxas de câmbio, taxas de inflação etc., de preferência acompanhadas de quantificação das incertezas, associadas a esses *inputs* de modelos financeiros de fluxo de caixa descontado. No tópico 9, adiante, apresentamos um exercício no qual essa metodologia é utilizada.

⁶ Isso sugere mais um ponto positivo para a co-geração: pode propiciar aumento do nível de emprego.

⁷ ver resolução 371 de 1999, da Aneel.

4.5) Valores envolvidos na co-geração

Em primeiro lugar a auto-produção de energia elétrica implica em investimentos que não são pequenos. Como ordem de grandeza, uma fábrica que demanda 5000 kW em média, e pode aproveitar todo o calor produzido por uma máquina de combustão, terá que investir de 5 a 8 milhões de dólares para conquistar sua independência. Portanto terá que reduzir seus custos operacionais anuais em cerca de 1,5 a 2 milhões de dólares para ter retorno em 5 anos (considerando os custos financeiros do mercado atual). Esses números são estimados, e só servem para se ter uma idéia dos valores envolvidos.

Entretanto, temos que analisar criteriosamente, pois diversos fatores influenciam a viabilidade de um projeto de co-geração, de modo que não podemos generalizar. Um mesmo projeto pode ser viável num lugar e não ser em outro, se mudarmos de cidade, de Estado, de região ou de país. E pode ser viável num lugar num dado momento e não o ser mais em outro.

5) Condições favoráveis à co-geração

Nesse tópico nos referimos a condições mais abrangentes de vocação de uma instalação para co-geração. Além dos aspectos técnicos abordados no tópico 4.3, temos que considerar os seguintes:

- tarifas praticadas, ou negociáveis, de energia elétrica: quanto maiores mais favoráveis à co-geração;
- preço do combustível consumido atualmente: idem;
- preço do combustível a ser utilizado no sistema de co-geração: quanto menor melhor
- custo de *back-up* (ou demanda suplementar reserva) de energia elétrica: idem;
- disponibilidade de utilidades (água tratada e água de refrigeração);
- existência de espaço para instalação dos equipamentos adicionais.

A implantação de um sistema de co-geração significa necessariamente uma mudança substancial do perfil do consumidor considerado. Ele pode deixar de ser um comprador de energia elétrica para ser um vendedor desta e passar a consumir um combustível como gás natural ou óleo. Nesse contexto fica evidente que os preços dos citados insumos, associados às demandas na nova situação, comparada com a existente ou de referência, impactam diretamente os cálculos de viabilidade econômica do investimento.

6) Estudo de caso

Uma empresa que possui uma planta industrial cuja central de utilidades precisa fornecer energia elétrica comprada da concessionária local atendendo a uma curva diária de demanda, típica para todos os dias do ano, conforme mostrada na figura 19 a seguir:

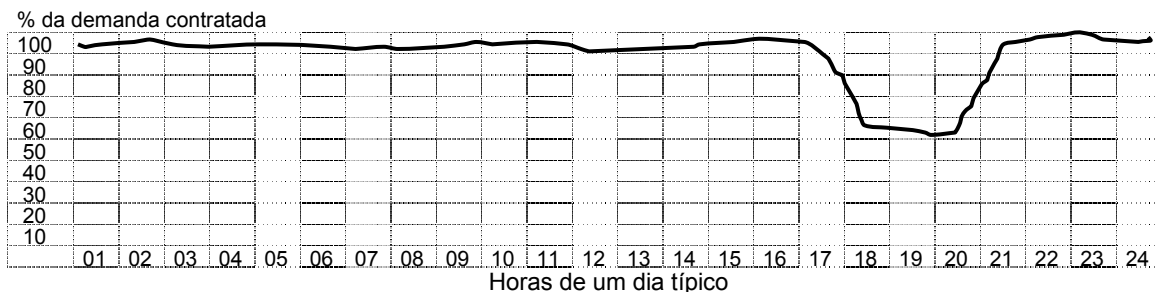


Figura 19 Curva diária típica de carga elétrica

A central possui uma caldeira a óleo combustível tipo 1B, para produzir vapor de processo para a planta, vapor esse de pressão 10 bar saturado seco, conforme curva de demanda, também típica para todos os dias do ano, mostrada na figura 20 a seguir:

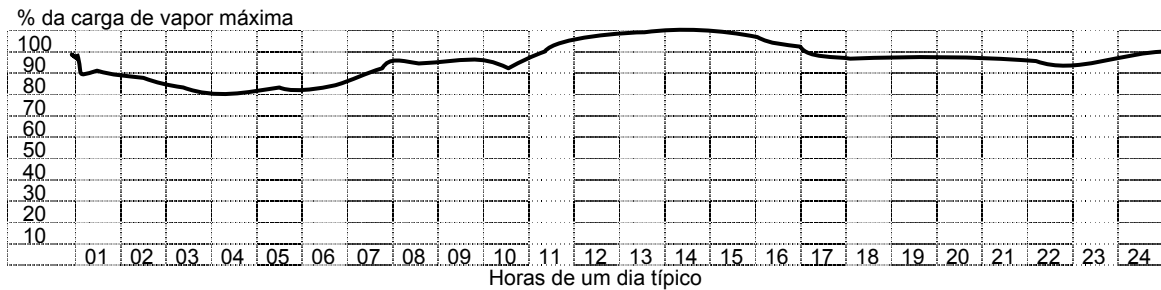


Figura 20 Curva diária típica de demanda de vapor

Os valores médios horários correspondentes a essas curvas de demanda diária estão na tabela 2 a seguir:

Tabela 2 Valores das demandas de vapor e de energia elétrica

Horas do dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
% vapor máx.	88	86	84	81	83	83	86	90	89	90	94	95	98	100	97	93	90	88	91	92	91	90	89	93
% EE máx.	88	91	89	90	89	89	87	89	88	88	91	89	88	89	90	92	90	65	64	63	90	92	92	89

Atualmente essa empresa está sujeita às seguintes condições:

- energia elétrica: tarifa A4, horo-sazonal azul
- concessionária Eletropaulo (dez 2001)
- tarifas de demanda: R\$22,43/kW.mês na ponta e R\$7,48/kW.mês fora da ponta;
- tarifas de consumo: R\$147,02/MWh na ponta seca, R\$136,05/MWh na ponta úmida, R\$69,90/MWh fora da ponta seca e R\$61,78/MWh fora da ponta úmida)
- tarifa de gás natural: R\$ 0,3987/m³ (referência tabela progressiva da Pbgás-2001)
- preço do óleo combustível 1B, da BR, a R\$ 0,4529 por kg (out/2001)

Uma solução possível de co-geração é mostrada na figura 21:

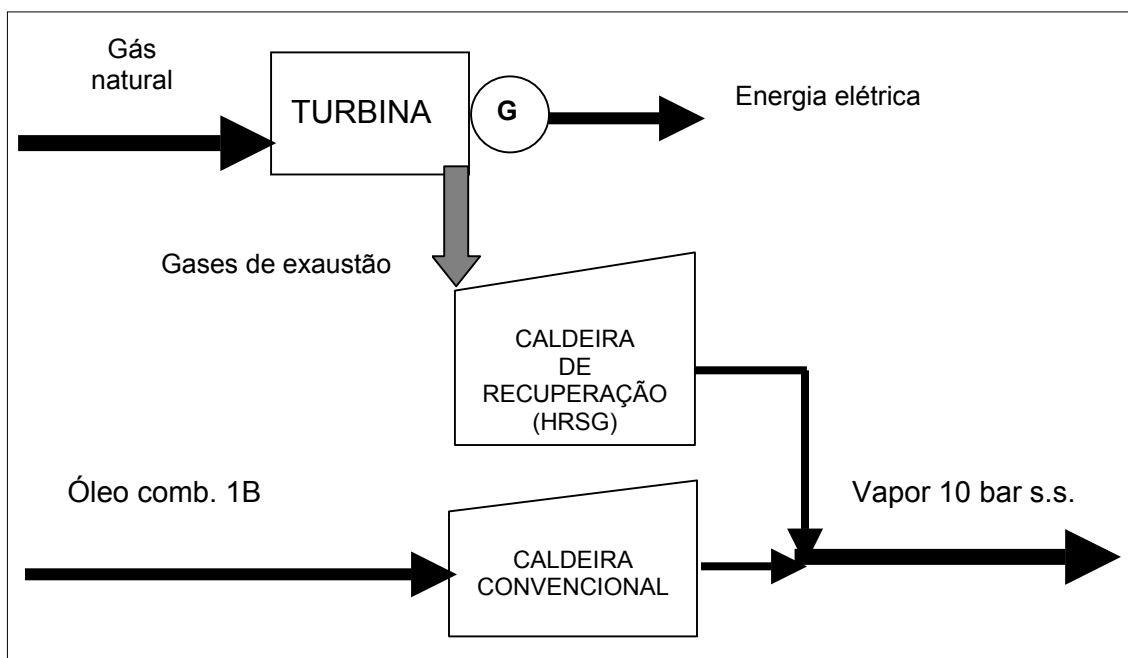


Figura 21 Projeto conceitual de co-geração

O gás natural é o combustível da turbina que aciona o gerador, atendendo à demanda elétrica da fábrica, em paridade, e cujos gases quentes da descarga produzem o vapor co-gerado através de uma caldeira de recuperação. Para atender à demanda de vapor é utilizada a caldeira a óleo combustível que já existe na fábrica.

Desenvolvemos um programa em Excel específico para estudar esse tipo de projeto, cujos dados de entrada são mostrados na tabela 3 a seguir:

Tabela 3 Dados de entrada no modelo de avaliação

DEMANDA ELÉTRICA MÁXIMA	3,00	MW	rend. elé. turbina	30%	preço comb. Conv.	458,79	R\$/m ³ (out 2001)
DEMANDA VAPOR MÁXIMA	10,00	t/h	rend. térm. turbina	65%	preço gás natural	0,3987	R\$/m ³ (Pbgás 6/2001)
Fator de vapor(10 bar s.s.)	0,743	MWh/t	Eficiência HRSG	80%			
Fator de disp. da planta coger.	95%		Efic. cald. Conven.	85%			
PCI comb. Convencional	9704540	kcal/m ³	(OC 1B, 1013 kg/m ³)				
custo unitário de O&M	20	R\$/MWh					

O programa simula, a cada hora do dia, a operação da planta conforme projeto conceitual, representado por equações de balanço de energia. Os dados de performance da turbina e da caldeira de recuperação foram obtidos em programa fornecido pelo fabricante (Solar) e aplicado ao modelo de equipamento escolhido (Centauro 40). Os rendimentos e eficiências dos equipamentos foram corrigidos com base em fórmulas polinomiais levantadas a partir de simulações com o próprio programa do fabricante.

No primeiro ano de operação, em que o preço da energia elétrica que o cliente compraria da concessionária seria de R\$ 119,29/MWh, o programa informa que o benefício operacional diário da planta será de R\$ 1.691,28 e o benefício anual, tendo sido descontado o custo do *back-up* será de R\$ 324.228,85. O consumo de gás natural será de 22.090,43 m³/dia, e 15,42 t/dia de óleo combustível na caldeira complementar.

O programa de análise então calcula o benefício obtido com a implementação do projeto a cada ano do período de 20 anos de sua vida econômica, e configura um fluxo de caixa com parâmetros financeiros estabelecidos pelo analista conforme tabela 4 a seguir:

Tabela 4 Dados para formação do fluxo de caixa descontado

Investimento estimado:	R\$	8.400.000,00	Ano do Investimento:	2.002	
depreciação anual média		10%	Parcelas (anos):	20	
Vida Econômica do Projeto	(anos)	20	Início do Fluxo de Caixa:	2.003	
TMA-taxa mínima de atratividade (anual)		15%			
			Percentual Financiado:	70%	Ano
			Ano do Financiamento:	2.000	V
			Retirada:	100%	2.002
				0%	2.003
				0%	2.004
				0%	2.005
	Amortização:		Parcelas :	4	
			Carência (anos):	1	
			Sistema de Amortização	SAC	
			Taxa de Juros :	17%	ao ano
	Tributos		CSSLL	9%	
			IR	25%	
			PIS	0,65%	
			COFINS	3%	
			CPMF	0,38%	

O custo evitado, que constitui o equivalente à receita da planta, tem um componente forte no preço da energia elétrica que seria paga pelo cliente caso mantivesse seu contrato com a concessionária, sem co-geração. Com o programa foram feitas análises para dois cenários: o primeiro, sem reajuste no preço real da energia elétrica, e o mesmo para os demais preços; o segundo, com reajustes apenas no preço real da energia elétrica nos primeiros anos do fluxo de caixa, com aumentos graduais até o oitavo ano, reduções nos três anos seguintes e estabilização até o vigésimo ano. A figura 22 a seguir ilustra esse segundo cenário, e a tabela na parte de baixo mostra os preços médios da energia que geraram o gráfico:

Preço da Energia Elétrica no mercado (R\$/MWh)

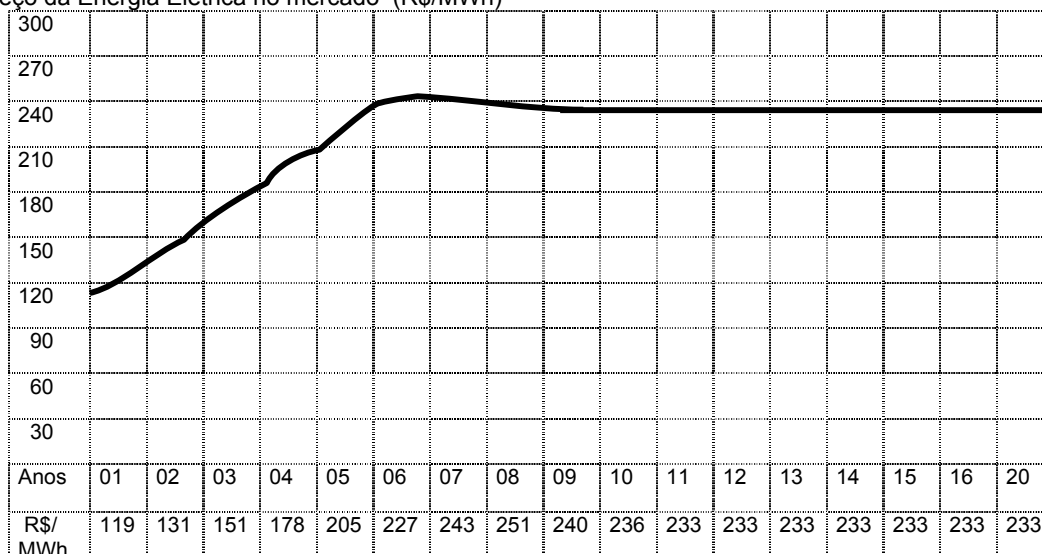


Figura 22 Projeção de preços da energia elétrica

Os resultados econômicos principais – Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno – obtidos do fluxo de caixa descontado, para os cenários com e sem reajuste dos preços de energia elétrica (fora a inflação) são mostrados a seguir:

- Cenário sem reajuste no preço da energia elétrica :

VPL R\$	(5,862,805)	sem financiamento	INVIÁVEL (VPL < 0)
TIR	-4.60%		
VPL R\$	(5,101,272)	com financiamento	
TIR	Não avaliada		

- Cenário com reajuste no preço da energia elétrica (apenas):

VPL R\$	253,728	sem financiamento	VIÁVEL (VPL > 0)
TIR	15.46%		
VPL R\$	1,015,261	com financiamento	
TIR	17.20%		

Observa-se claramente que esse projeto de co-geração se torna viável se houver uma recuperação dos preços de energia elétrica.

Em seguida submetemos o modelo a uma análise de riscos, associando aos valores projetados dos preços da energia elétrica uma distribuição de probabilidades triangular conforme figura 23 e tabela 5 a seguir:

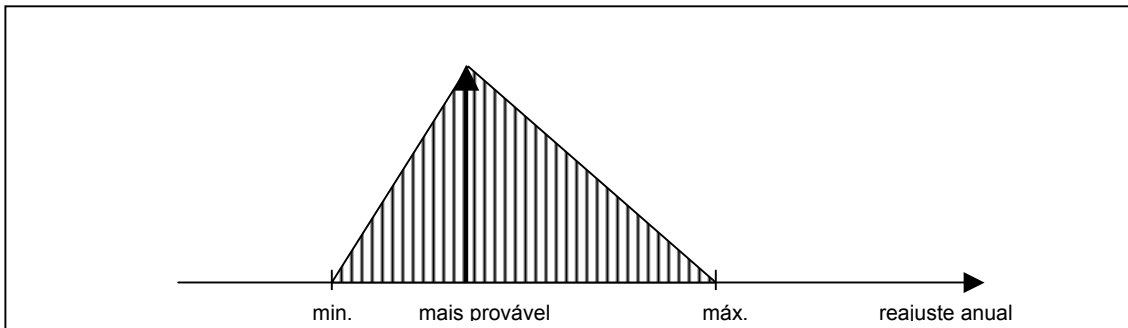


Figura 23 Função triangular de distribuição de probabilidades

Tabela 5 Parâmetros de distribuições de probabilidades adotadas para cada fluxo de caixa

(anos)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
reajuste anual %	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
máximo	10	15	18	20	20	15	11	7	3	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Mais provável	4	10	15	18	15	11	7	3	-4	-2	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
mínimo	2	7	9	10	10	8	6	2	-10	-8	-5	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2

Após 2500 iterações encontramos a distribuição de frequência acumulada para a Taxa Interna de Retorno⁸ mostrada na figura 24 seguir:

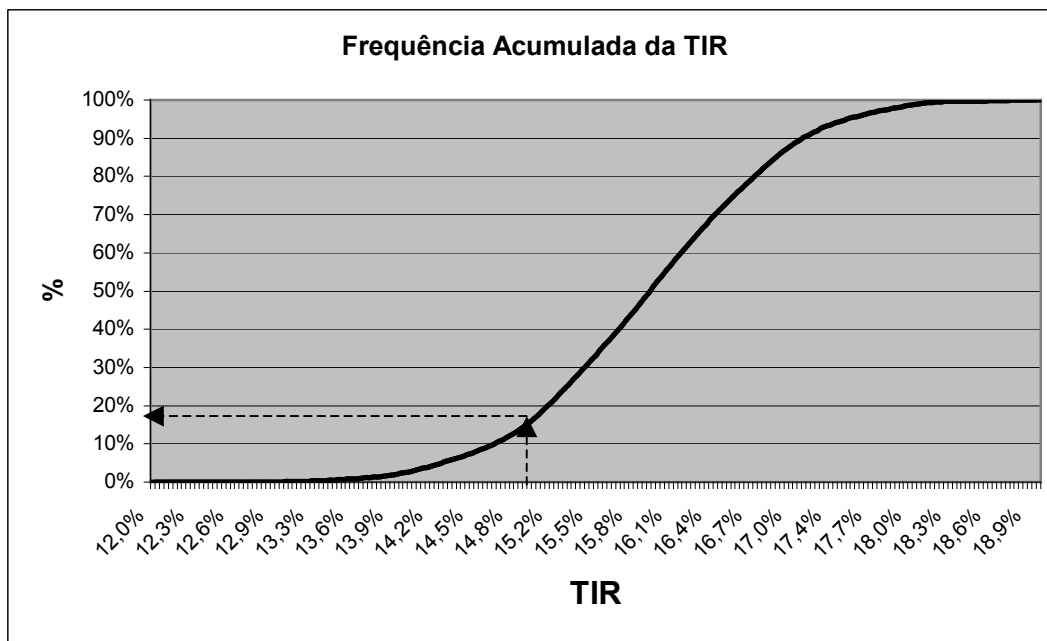


Figura 24 Distribuição de probabilidade acumulada para a TIR

Podemos observar que a probabilidade de a TIR ser menor do que 15%, que foi a taxa mínima de atratividade estabelecida para o capital próprio, é de 16,5%. Ou seja, esta é a probabilidade de o VPL (valor presente líquido) ser negativo, o que indicaria a inviabilidade econômica do projeto. Da mesma forma, portanto, a probabilidade e o

⁸ Contamos com o apoio do consultor Marcos Huber Mendes, da empresa Decision Support Ltda., na aplicação do programa @Risk, da Palisade.

projeto ser viável seria de 83,5%, para as distribuições de probabilidades adotadas para os preços de energia elétrica ao longo da vida econômica do projeto.

Podemos tirar uma conclusão importante desse estudo de caso: mesmo com certo grau de incerteza, uma recuperação dos preços de energia elétrica nos próximos anos⁹ tornaria viáveis muitos projetos de co-geração atualmente engavetados por não se mostrarem atrativos com os parâmetros econômicos de hoje.

Referências:

BARONCINI, G., CHIARINI, V., *Technologies and Production Experiences with Seven Cogeneration Plants on Atomizer*, International Ceramics Journal, pp 9-13, Itália, agosto 1995.

BRASIL, N. P. : Impactos do Setor Elétrico e da Indústria de Gás Natural na Co-geração no Brasil, tese de mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, fevereiro de

CETESB, Relatório de Qualidade do ar na Região Metropolitana de São Paulo e em Cubatão, São Paulo, 1988

COBAS, V. M., "Geração Distribuída", FUPAI, *Co-geração e Geração Distribuída*, cap.10, Itajubá, MG, 2001

LA ROVERE, E. L., *Política Ambiental e Planejamento Energético*, PPE/COPPE/UFRJ, ago 2000

MME, Ministério das Minas e Energia, Balanço Energético Nacional de 2000, 2001

⁹ Supondo constantes os demais parâmetros econômicos como preço do gás natural, taxa de câmbio etc.