



Capítulo II

A cogeração de energia e sua importância do ponto de vista técnico, econômico e ambiental

Por Marcelo Carlos Barbell*

O termo cogeração de energia, basicamente, tem como significado a produção simultânea e sequencial de duas formas de energia, por meio de um único insumo energético. Em outras palavras, cogeração de energia é uma técnica de produção simultânea de duas formas de energia térmica e energia mecânica/elétrica a partir da queima de um único combustível.

A cogeração é um tipo de geração distribuída de energia elétrica. Por conseguinte, ela pode propiciar economias nos investimentos do setor elétrico em redes de transmissão e distribuição, além de reduções nas perdas destas redes. A cogeração também pode proporcionar reduções nas emissões de poluentes para a atmosfera, comparando-se com as produções separadas das mesmas quantidades de energia térmica e elétrica.

Em nível mundial, os primeiros sistemas comerciais de cogeração foram instalados no final do século XIX. Nos anos de 1940, metade da energia elétrica produzida nos Estados Unidos era proveniente da cogeração. Esse percentual foi reduzido para 5% ao final dos anos 1960 (SILVEIRA, 2009). Isso ocorreu devido à expansão, distribuição e monopólio das redes de transmissão. No Brasil ocorreu um fenômeno diferente, sendo que, a partir de 1950, houve uma acentuada expansão no aproveitamento dos recursos hídricos, despertando um baixo interesse por esse tipo de geração de energia.

Paralelamente a esse fenômeno, a venda dos excedentes de energia elétrica advindos dos sistemas de cogeração era desfavorecida não só pelos baixos valores tarifários negociados nos contratos, mas também pela ausência de regras e legislação que ordenassem a relação entre o autoprodutor/produzidor independente e a concessionária de energia elétrica local. Soma-se a isso a inserção do gás natural na matriz energética brasileira e os incentivos à sua utilização, deslocando ainda mais a utilização dos sistemas de cogeração, principalmente os que utilizam biomassa como fonte de combustível.

Dessa maneira, este artigo tem como premissa mostrar a importância dos sistemas de cogeração de energia do ponto de vista técnico, econômico e ambiental. Com relação às questões técnicas, propõe descrever as principais tecnologias disponíveis para cogeração e possíveis tecnologias que poderiam contribuir para o aperfeiçoamento tecnológico dos sistemas. Do ponto de vista econômico, a ideia é discutir os principais entraves à penetração dos sistemas de cogeração, principalmente no que se refere à legislação em relação aos mercados de compra e venda de energia e relação produtor/concessionária, bem como o papel de sistemas concorrentes que interferem na consolidação do uso de sistemas de cogeração. A abordagem ambiental é exigência quando se discutem sistemas de geração, transmissão e distribuição

de energia, seja qual for o combustível ou a tecnologia utilizada. Assim, discutem-se os impactos ambientais advindos de tais sistemas e como podem contribuir para a proteção ambiental, se comparados a sistemas de produção de energia tradicionais. Com base no exposto, mostram-se as principais tecnologias, vantagens e desvantagens da utilização dos tipos de sistemas de cogeração em relação a outros sistemas de obtenção de energia e os segmentos consumidores que podem obter maior ganho com o seu uso.

O CENÁRIO ENERGÉTICO BRASILEIRO

O Brasil tem apresentado uma demanda de energia elétrica crescente nas últimas décadas. O cenário de crescimento econômico apresentado na última década contribui para esse aumento na demanda, exigindo fortes investimentos no aumento da capacidade instalada do parque gerador de energia elétrica. Segundo dados do Balanço Energético Nacional (BEN) de 2013, a demanda por energia elétrica apresenta uma evolução média de aproximadamente 4,3% ao ano, entre os anos de 2002 e 2012.

O segmento industrial apresentou um aumento médio de demanda, no mesmo período, de aproximadamente 3,5% ao ano (BEN, 2012), mesmo considerando um decréscimo no consumo no ano de 2008, muito provavelmente em razão da crise econômica

mundial deflagrada neste período. Esses dados apontam para a necessidade de incremento do sistema de geração de energia brasileiro, principalmente, por conta do desenvolvimento industrial verificado nos últimos anos.

A matriz energética brasileira possui uma configuração em que a energia elétrica produzida é predominantemente de origem hidrelétrica (cerca de 80% do total produzido). Esse sistema é extremamente intensivo em capital e teve o poder público como principal agente de investimentos ao longo dos anos. Tal sistema mostra sinais de esgotamento, observado em razão da saída do Estado como principal agente investidor e produtor de energia elétrica, como pode ser notado pela política de privatizações de empresas do setor elétrico, ocorrida no passado recente. A partir disso, vê-se a movimentação do Estado para atividades de regulação de mercado e formulação de políticas públicas no setor de energia, ficando para a iniciativa privada a exploração e os investimentos em infraestrutura de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.

Outro fator de importância, intimamente ligado a esse arcabouço institucional, refere-se ao esgotamento dos potenciais hidráulicos em regiões próximas aos centros de consumo. A exigência de adequação do empreendimento à legislação ambiental também é um fator complicador. Muitas vezes, os órgãos ambientais se posicionam de forma contrária à realização de empreendimentos hidrelétricos por conta do alto impacto ambiental causado à região de influência do sistema.

Neste contexto, a busca de competição a ser proporcionada por diferentes alternativas de geração de energia elétrica deve ser considerada. Dessa forma, critérios tecnológicos, econômicos, financeiros, ambientais e institucionais devem ser avaliados para outras fontes de energia e/ou sistemas, de modo a criar meios de prospecção e de viabilização para utilização de novas formas de geração de energia.

Neste ínterim, os sistemas de cogeração de energia podem representar uma nova fronteira na geração de energia, não como forma de substituição, mas como forma de

complementação aos sistemas existentes.

CLASSIFICAÇÃO DE SISTEMAS DE COGERAÇÃO

É de uso comum classificar os sistemas de cogeração de acordo com a ordem relativa de geração de calor e potência, conforme o fluxo de energia. Assim, tais sistemas são divididos em dois grupos: os ciclos bottoming e os ciclos topping (BALESTIERI, 2002). Os ciclos “bottoming” são aqueles nos quais ocorre a recuperação direta do calor residual (descarregado para a atmosfera) para a produção de vapor e energia mecânica ou elétrica, normalmente em turbinas a vapor de condensação ou contrapressão. Nessa tecnologia, primeiro, a energia térmica é utilizada no processo e a energia contida nos gases de exaustão é utilizada para a produção de energia elétrica ou mecânica (SILVA et al, 2005). As instalações do tipo bottoming são uma modalidade menos comum de cogeração, em que o calor a altas temperaturas, rejeitado por processos industriais, é aproveitado para gerar

energia mecânica/ elétrica (CLEMENTINO, 2001). As tecnologias de cogeração bottoming concorrem com técnicas de conservação de energia que promovem a recuperação de calor residual. Aí se encontra um fator limitante a determinados segmentos industriais, em que o calor residual é pequeno ou de difícil recuperação e também pela limitação da geração de potência. O uso de turbinas a vapor com injeção adicional de vapor é uma solução tecnológica bastante satisfatória para contornar a limitação na geração de potência.

Segundo Silva et al, 2005, os ciclos topping são aqueles nos quais os gases de combustão, a uma temperatura mais elevada, são utilizados para geração de eletricidade ou de energia mecânica. O calor rejeitado pelo sistema de geração de potência é utilizado para atender aos requisitos de energia térmica do processo. Esse tipo de cogeração produz energia elétrica ou mecânica para depois recuperar calor, fornecido geralmente na forma de vapor para o processo (podendo também fornecer água quente ou fria e ar quente ou frio). Essa é a configuração mais comum dos processos de cogeração. Segundo Clementino (2001), os ciclos topping consistem basicamente na produção de energia mecânica por uma máquina térmica que rejeita calor para um processo industrial qualquer. São tecnicamente possíveis ciclos topping utilizando turbinas a vapor, turbinas a gás, motores de combustão interna (normalmente motores Diesel) ou combinação de turbina a gás com turbina a vapor, também conhecido como ciclo combinado (SILVEIRA, 2009).

SELEÇÃO DE TECNOLOGIAS

A seleção de tecnologias de cogeração deve obedecer a critérios rigorosos baseados na seleção de opções tecnicamente viáveis e deve considerar alguns aspectos, dentre os quais:

- disponibilidade do combustível, que deve ser adequado à tecnologia e ter custo baixo;
- avaliação dos impactos ambientais decorrentes da tecnologia e combustível utilizado;
- avaliação da eficiência de conversão do combustível em energia elétrica;
- custo dos investimentos necessários em tecnologia, operação e manutenção do sistema;
- disponibilidade do sistema de cogeração, ou

seja, nível de confiabilidade do sistema elétrico e custo final do suprimento de energia ao sistema integrado;

- relação potência/calor, importante na determinação do tipo de ciclo a ser utilizado, mas sem correlação com as demandas de potencia e calor da planta industrial.

A partir da seleção e da aquisição da tecnologia adequada, a colocação em marcha do sistema de cogeração constitui-se no passo seguinte. Existem três tipos de operação a qual um sistema pode funcionar: em paridade térmica, em paridade elétrica e em operação econômica e, segundo Silveira (2009), há um quarto tipo de operação, chamado de operação em cargas parciais.

No regime de paridade térmica, o sistema de cogeração é projetado e operado de forma a ser capaz de fornecer as necessidades térmicas da planta industrial, ou seja, o calor é o produto principal e a eletricidade é o subproduto do sistema de cogeração. Assim, o sistema deve estar interligado à rede concessionária local para, dependendo das condições operacionais e de sua demanda, se abastecer de energia elétrica do concessionário ou fornecer o excedente de eletricidade à rede concessionária.

No regime de paridade elétrica, ocorre o contrário, o sistema de cogeração é projetado e operado de forma a atender às necessidades de energia elétrica da planta industrial, sendo seu produto principal. O calor é o subproduto da cogeração. Se o calor gerado for insuficiente para atendimento do processo de produção fabril, é necessário ter um sistema auxiliar anexo para satisfazer a demanda. Caso contrário, o calor adicional é rejeitado para o meio ambiente.

O regime de operação econômica é aquele no qual o sistema opera de acordo com parâmetros econômicos. É orientado a suprir parte, totalidade ou ainda produzir excedente da demanda elétrica de pico, conforme a eletricidade é adquirida ou vendida sob uma tarifa mais elevada. Desta forma, há a opção de comprar eletricidade da concessionária para completar o seu suprimento, ou, se for o caso, vender o excedente. Para que isso seja factível, há a necessidade de se utilizar um equipamento suplementar para satisfazer parte ou a totalidade da sua demanda térmica, quando necessário, dependendo das condições operacionais da

planta de cogeração (SILVEIRA, 2009).

No caso do regime de operação em cargas parciais, o sistema de cogeração é subdimensionado em relação aos seus requerimentos de eletricidade e calor de processo, atendendo cargas parciais destas modalidades de energia (SILVEIRA, 2009). Assim, o sistema de cogeração não supre totalmente as necessidades de eletricidade e de calor. No caso da eletricidade, deve ocorrer a compra da parte complementar necessária da concessionária local. No caso do calor, deve ser pensada a instalação de equipamento auxiliar para suprimento das necessidades de calor.

PRINCIPAIS TECNOLOGIAS DE COGERAÇÃO

Em sistemas de cogeração de energia é possível adotar vários tipos de arranjos de equipamentos. Existe a possibilidade de se configurar sistemas mais simples, como aqueles com caldeiras convencionais e turbinas a vapor de contrapressão; ou sistemas mais complexos, compostos por turbinas a gás e gaseificadores. Isso vai depender das necessidades do processo, de condições preexistentes na planta industrial e da filosofia de trabalho do empreendimento em questão. Assim, consideram-se seis tipos de alternativas, cujas tecnologias são amplamente dominadas: turbina a vapor de contrapressão, turbina a vapor de condensação, turbina a vapor de extração e condensação, turbina a gás simples, turbina a gás em ciclo combinado e turbinas a gás com injeção de vapor. As tecnologias que utilizam turbinas a vapor são mais fáceis de ser implementadas, em razão das configurações industriais preexistentes. No caso das tecnologias com turbinas a gás, há a necessidade de utilização de combustíveis nobres. O gás natural é uma alternativa. No caso da tecnologia de turbinas a gás com injeção de vapor, há opções de se adotar os ciclos STIG, BIG/STIG e BIG/ISTIG, que proporcionam condições de melhoria de eficiência na obtenção de eletricidade (BALESTIERI, 2002). O ciclo STIG (Steam Injected Gas Turbine) é aquele no qual ocorre recuperação do calor dos gases de exaustão da turbina a gás, aumentando o potencial de obtenção de vapor. Os ciclos BIG/STIG (Biomass Integrated Gasifier/Steam Injected Gas Turbine) e BIG/ISTIG (Biomass Integrated Gasifier/Intercooler Steam Injected

Gas Turbine) usam gaseificação de biomassa como diferencial tecnológico.

ASPECTOS ECONÔMICOS, INSTITUCIONAIS E AMBIENTAIS DA COGERAÇÃO

Segundo Nagaoka (et al, 2007), para atrair investimentos privados para o setor elétrico, o governo iniciou a partir de 1995 um processo de desregulamentação do setor que incluiu ações como: a) separação das atividades de geração, transmissão, distribuição e comercialização; b) melhora das condições de competição na geração e na comercialização, para garantir eficiência e baixo custo da energia; c) permanência do monopólio natural na distribuição e na transmissão; d) recursos da iniciativa privada para garantir a expansão e e) definição de regras específicas nos contratos de concessão, para garantir confiabilidade e qualidade no fornecimento.

Tais medidas aventavam a esperança de que, com a segregação das áreas de geração, transmissão e distribuição, o mercado se tornaria mais competitivo para venda de energia, ampliando-se, portanto, as possibilidades de negociações para a comercialização de energia elétrica excedente, principalmente em segmentos industriais energointensivos e que possuíam vocação para a autoprodução de energia elétrica, como o setor sucroalcooleiro, por meio da figura do autoprodutor e do produtor independente de energia (PIE).

Em abril de 2002 foi aprovada a medida provisória nº 14 de 21/12/2001, que instituiu o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa). O programa incentiva a participação de energia elétrica gerada com base nas fontes alternativas eólica, pequenas centrais hidrelétricas e biomassa. Os empreendimentos devem ser concebidos com base em uma nova figura jurídica: a do Produtor Independente Autônomo (PIA). Segundo Souza (2002), basicamente, o produtor independente autônomo será aquele cuja sociedade não será controlada ou coligada de concessionária de geração, transmissão ou distribuição de energia elétrica, nem de seus controladores ou de outra sociedade controlada ou coligada com o controlador comum. Isso representa um avanço institucional, que visa

melhorar a competitividade da cogeração no país.

A cogeração de energia também pode desempenhar um papel importante na proteção ambiental relativa às atividades de produção e consumo de energia. As emissões de carbono na atmosfera são um dos principais meios de degradação ambiental ligado aos sistemas de produção de energia. Pesquisas indicam que, durante a revolução industrial, por volta do ano de 1750, a proporção de dióxido de carbono no ar era de 280 ppm (partes por milhão) (CLEMENTINO, 2001). Em maio de 2013, essa proporção chegou a impressionantes 400 ppm. Com essa proporção, segundo os cientistas, estamos no limite do controle do aquecimento global. Nesse sentido, os sistemas de cogeração podem contribuir bastante para a redução dos gases de efeito estufa, uma vez que o processo de conversão de energia é mais eficiente e, dependendo do combustível utilizado, como, por exemplo, o gás natural, as emissões são mais baixas. Este fato corrobora com a ideia de que a maior utilização da cogeração pode auxiliar na busca de um modelo de desenvolvimento mais sustentável na produção de eletricidade, agredindo menos os ecossistemas envolvidos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas de cogeração podem ser considerados uma opção interessante ao país, devido ao fato de aumentar a oferta de energia elétrica pela utilização mais eficiente do combustível, principalmente no segmento industrial, sendo que esse combustível já é utilizado para atendimento do processo fabril. Segmentos como o sucroalcooleiro e papel e celulose podem obter vantagens com o uso da cogeração, uma vez que utilizam combustíveis oriundos do próprio processo de fabricação de seus produtos, principalmente a biomassa (resíduos com características combustíveis). Outros segmentos, como shopping centers, hospitais e grandes redes de supermercados, também podem utilizar sistemas de cogeração com vantagens, em virtude do alto consumo de eletricidade que apresentam. Neste caso, o uso de tecnologias com queima de gás natural pode ser vantajoso, por conta da proximidade com a malha de gasodutos nos grandes centros urbanos. Isso pode alavancar o benefício do

custo evitado para o sistema elétrico nacional, em que a necessidade de investimentos em infraestrutura de geração de energia elétrica pode ser deslocada.

Em razão do processo mais eficiente de conversão do combustível, a cogeração contribui para o controle de emissão de carbono e gases de efeito estufa, proporcionando um modelo mais sustentável de desenvolvimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALESTIERI, J. A. P. *Cogeração – geração combinada de eletricidade e calor*. Florianópolis: editora da UFSC, 2002. 279p.
- BEN. *Balanco Energético Nacional 2013. Ano base 2012*. Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2013. [Disponível em <www.mme.gov.br>, acesso: 13 mai 2013].
- CLEMENTINO, L. D. *A conservação de energia por meio da cogeração de energia elétrica*. São Paulo: Érica, 2001. 172p.
- FSP. *Jornal Folha de São Paulo. Caderno Ciências*. São Paulo: 11 mai 2013.
- NAGAOKA, M.P.T., ESPERANCINI, M.S.T., VIRGENS FILHO, J.S., MAGALHÃES, A.M., NAGAOKA, M.E. e GUERRA, S.P.S. *Análise de viabilidade econômica em co-geração de energia elétrica*. Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal. ISSN 1678-3867. Publicação científica da Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal de Garça/ FAEF. Ano V, N. 09, Fev. 2007.
- SILVA, C.R.A., GARRAFA, M.T.F., NAVARENHO, P.L., GADO, R. e YOSHIMA, S. *A biomassa como alternativa energética para o Brasil*. Revista Brasileira de Ciências Ambientais. N. 2, 2005.
- SILVEIRA, J. L. *Cogeração*. Anais do II simpósio de energias alternativas. UNESP, out. 2009.
- SOUZA, Z. J. *A cogeração de energia no setor sucroalcooleiro: desenvolvimento e situação atual*. UFSCAR: São Carlos, 2002. 10p.

*Marcelo Carlos Barbeli é engenheiro mecânico, com Mestrado e Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos. Atua como docente no Centro Universitário Hermínio Ometto (Uniararas), na Faculdade de Ciências, Tecnologia e Educação (Fatece) e no Instituto Superior de Ciências Aplicadas (ISCA). É pesquisador em segmentos industriais energointensivos, cogeração, produção de energia a partir da biomassa e biocombustíveis e pesquisa operacional aplicada a energia.

CONTINUA NA PRÓXIMA EDIÇÃO

Acompanhe todos os artigos deste fascículo em www.osetoreletrico.com.br

Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados para redacao@atitudeditorial.com.br