

UMA ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DA COGERAÇÃO COM TERMOACUMULAÇÃO APLICADA AO SETOR TERCIÁRIO

Cleiton R. F. Barbosa¹, Francisco de A. O. Fontes¹, Francisco E. Júnior², Igor M. G. Almeida³

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, S/N, Natal-RN, Brasil, *cleiton@ufnet.br

²Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Natal-RN, Brasil.

³Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Campi Santa Cruz-RN, Brasil.

Área Temática: Energia

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise técnico-econômica da cogeração no setor terciário baseada no uso de motores de combustão interna a gás natural. A inserção de termoacumuladores de água gelada propicia um aumento da eficiência energética do sistema de cogeração e uma redução da capacidade instalada do sistema de refrigeração, enquanto que economicamente, obtém-se um menor tempo de retorno de investimento.

PALAVRAS CHAVE: cogeração, gás natural, termoacumulação, análise econômica

INTRODUÇÃO

Atualmente, o setor terciário é um dos maiores responsáveis pelo crescimento do consumo de energia elétrica no Brasil. Os grandes prédios comerciais e públicos, hipermercados e *shopping centers* se destacam como grandes consumidores de energia elétrica, utilizada basicamente para fins de iluminação, potência motriz e energia térmica. Aliado a este contexto, a disponibilidade interna de gás natural e às exigências crescentes em favor da preservação do meio ambiente, abrem perspectivas promissoras para implantação de plantas de cogeração. O Brasil apresenta expressivo potencial para a implantação de pequenas plantas de cogeração, sobretudo no setor terciário, onde se concentra um número considerável de pequenos estabelecimentos comerciais com necessidades de energia elétrica, vapor, água quente e/ou água gelada (para refrigeração). O alto custo da eletricidade (ou energia elétrica), associado ao crescimento significativo no consumo desta fonte de energia, abre caminho para a instalação de centrais de cogeração que atendam necessidades elétricas e térmicas do comércio [1].

A forte penetração da cogeração no mercado produtivo decorre do fato de haver um melhor aproveitamento da energia primária consumida em comparação com outras opções (compra de energia elétrica da concessionária, geração independente de calor em caldeiras convencionais para o suprimento de energia térmica), em que para o mesmo montante de energias demandadas há consumo de energia primária tanto no gerador de vapor quanto no gerador elétrico [2]. Uma das principais dificuldades à implantação de sistemas de cogeração neste segmento consiste em conciliar os perfis, elétrico e térmico produzidos pela máquina térmica motriz e os demandados pela atividade terciária, caracterizados por grandes oscilações ao longo do tempo. Para minimizar os efeitos oscilatórios destas demandas, faz-se necessário a interligação dos sistemas elétricos do auto-produtor e da empresa de distribuição de eletricidade local, possibilitando assim a comercialização das faltas e dos excedentes elétricos, prática já consolidada em outros países. Do ponto de vista térmico, as soluções técnicas muitas vezes não correspondem às expectativas econômicas. Ernst e Balestieri [3] avaliaram a influência das flutuações de carga térmica e elétrica na atratividade de sistemas de cogeração. Os autores afirmam que a energia térmica é menos sensível a variações de carga para uma determinada indústria química, além da geração térmica ser especialmente atrativa em situações onde a

Num sistema de cogeração, a escolha da tecnologia utilizada é fortemente influenciada pelos perfis de potência elétrica e térmica demandada e pelo investimento realizado. Baseado nos valores citados por Silveira [6] e Tessmer [7] para os parâmetros α (quociente entre as energias eletro-mecânica e térmica consumidas) e β (quociente entre as energias eletro-mecânica e térmica útil produzidas pela máquina térmica motriz) e no investimento em pequenas plantas de cogeração citado por Stachel *et al.* [8], conclui-se que os motores alternativos de combustão interna apresentam condições mais propícias para uso em sistemas de cogeração de potência inferior a 1000 kW.

A energia térmica rejeitada pelos motores de combustão interna pode ser recuperada e disponibilizada sob a forma de água quente e vapor. Segundo Dorgan *et al.* [9] a temperatura recomendada para utilização de água quente em unidades de refrigeração por absorção de simples efeito varia entre 115 e 150°C e no caso de vapor a baixa pressão (100 kPa) entre 110 e 120°C. Nestas faixas de temperatura, são utilizáveis praticamente toda energia térmica rejeitada através da água de refrigeração do bloco do motor e parcialmente pelos gases de exaustão, cuja temperatura não deve ser inferior a 150°C, afim de evitar a formação de condensado ácido nos permutadores e dutos de exaustão. Num sistema de termo-acumulação com água gelada, a água é refrigerada por unidades de refrigeração (*chiller*) e armazenada em tanques de aço ou concreto a temperatura que varia entre 4 a 7°C. De acordo com Dorgan *et al.* [10], o interesse pela termo-acumulação em aplicações comerciais cresceu a partir das décadas de 70 e 80, quando as grandes empresas americanas reconheceram a necessidade de se reduzir a demanda elétrica de pico em seus sistemas de geração e distribuição.

METODOLOGIA

A metodologia utilizada é aplicável às empresas do setor terciário, em especial as públicas e comerciais, que possuam simultaneamente demandas: elétrica inferior a 1 MW e térmica de refrigeração para fins de condicionamento de ar superior a 100 TR. As seguintes premissas são adotadas :

- O sistema de cogeração pode operar isolado ou interligado em paralelo com a rede de distribuição de energia elétrica da concessionária local.
- O excedente elétrico resultante da diferença entre a potência elétrica produzida pelo sistema de cogeração e a demandada pelo consumidor é vendido à concessionária de distribuição de energia elétrica.
- O sistema de refrigeração empregado é do tipo por expansão indireta, centralizado e com circulação de água gelada em serpentinas (*fan coil*).
- Prioritariamente a demanda térmica de refrigeração é suprida pelo sistema de refrigeração por absorção, pelo tanque de termo-acumulação e complementarmente pelo sistema de refrigeração por compressão de vapor.
- A capacidade do tanque de termo-acumulação é dimensionada considerando acumulação parcial da carga térmica e ciclo diário de carga. A carga do sistema de termo-acumulação é feita exclusivamente pelo sistema de refrigeração por absorção durante o ciclo diário útil no período sem demanda térmica de refrigeração.

A avaliação técnica consiste em determinar a eficiência energética com base anual e a eficiência conforme o critério PURPA para as configurações: cogeração simples e cogeração com termo-acumulação. A eficiência PURPA é utilizada nos Estados Unidos para fins de qualificação de plantas de cogeração. As eficiências supracitadas são definidas da seguinte forma

$$\text{Eficiência Energética} = \frac{\text{Energia elétrica produzida} + \text{Energia térmica útil produzida}}{\text{Energia combustível consumida}} \quad (1)$$

$$\text{Eficiência PURPA} = \frac{\text{Energia elétrica produzida} + \frac{\text{Energia térmica útil produzida}}{2}}{\text{Energia combustível consumida}} \quad (2)$$

A avaliação econômica consiste do cálculo do tempo de retorno do investimento (TRI) que leva em consideração o investimento líquido e a economia gerada para se autoproduzir energia elétrica a partir de um sistema de cogeração a gás natural e energia térmica de refrigeração baseado no ciclo de absorção e sistema de termo-acumulação, em substituição ao sistema convencional que utiliza a energia elétrica suprida pela concessionária local e sistema de refrigeração baseado no ciclo por compressão de vapor.

$$TRI = \frac{\ln[1 - i \cdot (IVL / ECN)]}{-\ln(1 + i)} \quad (3)$$

A tabela 1 abaixo apresenta as equações que governam os cálculos dos custos de aquisição de equipamentos da planta de cogeração.

Tabela 1. Custo de aquisição de equipamentos de cogeração e refrigeração.

Moto-gerador a gás	$Y=1098,2 \cdot X^{-0,1197}$	Y-US\$/kW X-kW elétricogerado
Unidade de Recuperação Térmica	$Y=1961,4 \cdot X^{-0,5261}$	Y-US\$/kW térmico recuperado X-kW térmico recuperado
Unidade de Refrigeração por Compressão a Vapor (Chiller)	$Y=3359,2 \cdot X^{-0,2997}$	Y-US\$/TR X-TR
Unidade de Refrigeração por Absorção (Chiller)	$Y=4364,8 \cdot X^{-0,3093}$	Y-US\$/TR X-TR

ESTUDO DE CASO

O estudo realizado teve como base uma empresa localizada no município de Natal-RN-Brasil. O período de funcionamento é de segunda a sexta feira, no horário entre 6:30 às 17:30 hrs. Os perfis de demanda de potência elétrica e térmica de refrigeração medidos se encontram representados na figura 2 apresentada abaixo.

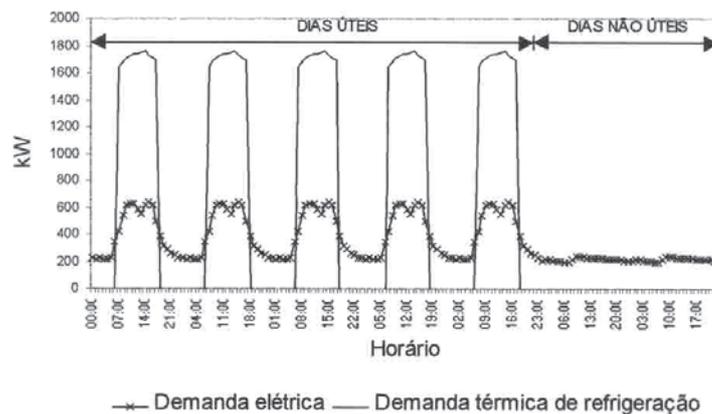


Fig.2. Perfis de demanda de energia elétrica e térmica da empresa num ciclo semanal.

As evoluções das eficiências energéticas e PURPA em função da potência elétrica gerada, calculadas de acordo com as Eqs. (1) e (2), se encontram representadas nas figuras 3 e 4.

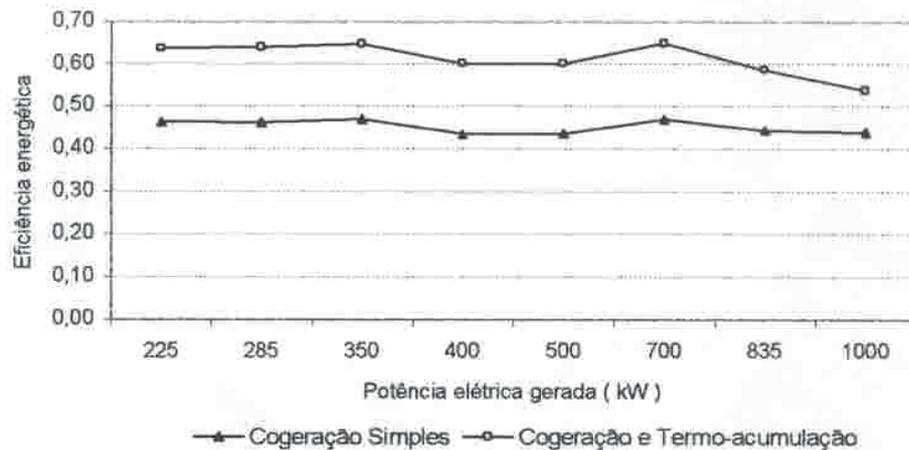


Fig. 3. Evolução da eficiência energética.

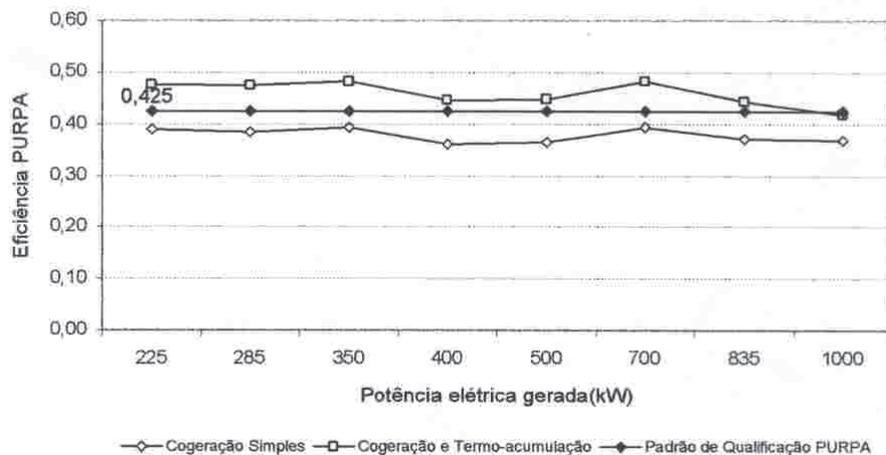


Fig.4 . Evolução da eficiência PURPA.

Analisando as figuras 3 e 4, constata-se que a eficiência energética do sistema de cogeração e termo-acumulação alcança uma média de 0,62, valor este bem superior ao obtido com o sistema de cogeração simples (0,45). Levando em conta a metodologia utilizada para fins de qualificação nos E.U.A, baseado no critério PURPA de eficiência, verifica-se que o sistema de cogeração e termo-acumulação estaria qualificado dentro daquele padrão, já que o valor de 0,46 alcançado supera o mínimo exigido de 0,425. O mesmo não ocorre com o sistema de cogeração simples visto que a eficiência PURPA alcançada foi de 0,38.

Os valores referentes ao Tempo de Retorno do Investimento (TRI), considerados satisfatórios para implantação de sistemas de cogeração no setor terciário ainda não se encontram consolidados na literatura, sendo estes valores variáveis de acordo com o tipo de projeto. Silveira [6] cita como referência para instalação de cogeneradores compactos um TRI de 2,5 a 4 anos. Hay [11] determinou em estudo com cogeração a gás

aplicado a um hospital um TRI de 3,9 anos. Biezma e Cristóbal [12] determinaram tempos de retorno do investimento para duas condições, utilizando um motor de combustão e utilizando uma turbina, no primeiro caso o TRI foi de aproximadamente 4 anos e no segundo caso de 5 anos. Em função da pouca divulgação de valores recomendados, foi adotado neste trabalho como padrão de referência um TRI de 4 anos.

Na avaliação econômica foram consideradas uma taxa de desconto anual de 10%. Levando em consideração o preço de compra do gás natural, constata-se que o sistema de cogeração com termo-acumulação quando comparado a cogeração simples apresenta um TRI menor em toda a faixa de potência avaliada, ver figura 5. Na melhor situação (350 kW), o TRI cai de 10,7 para 7,7 anos. Entretanto, este valor é ainda superior ao padrão adotado de 4 anos.

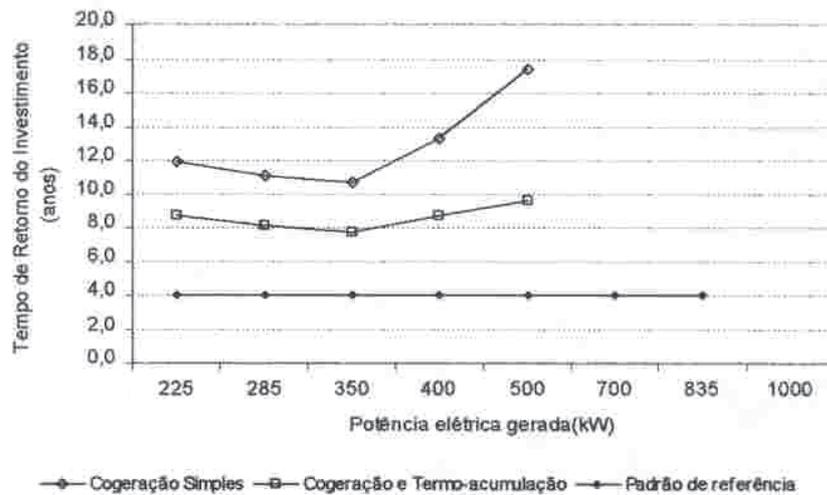


Fig.5. Evolução do TRI com tributos.

Constata-se ainda que os tributos incidentes na importação de equipamentos de cogeração e refrigeração, assim como a taxa de desconto anual apresentam grande sensibilidade no decaimento do TRI.

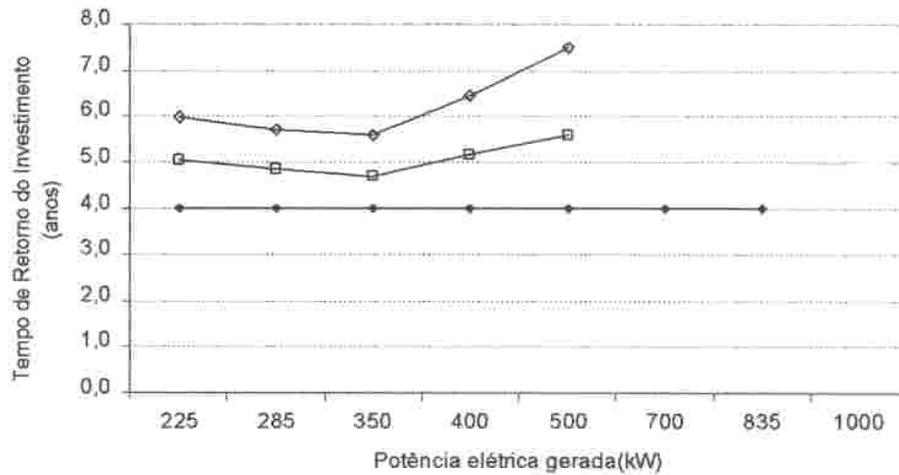


Fig.6. Evolução do TRI sem tributos.

Na figura 6 é apresentada a evolução do TRI em função da potência elétrica gerada, considerando o preço do gás combustível atual, isenção de tributos sobre equipamentos importados e taxa anual de desconto de 6%. Verifica-se que o sistema de cogeração com termo-acumulação apresenta menor TRI na faixa estudada que a cogeração simples. Na potência elétrica gerada de 350 kW, o TRI alcança 4,7 anos, para o sistema de cogeração com termo-acumulação, valor bem próximo ao padrão de referência adotado de 4 anos. De acordo com Khan *et al.* [4] o período de retorno de investimento para estes sistemas com termoacumulação acoplada à cogeração é inferior com os sistemas apenas com cogeração. Os autores citam também que a introdução do sistema de termoacumulação pode reduzir em torno de 20 % a demanda de pico.

CONCLUSÕES

Para o estudo de caso realizado, as principais conclusões obtidas são:

- A inserção de tanques de termo-acumulação de água gelada propicia um aumento da eficiência energética do sistema de cogeração.
- A eficiência aumenta em média de 0,45 (sistema de cogeração simples) para 0,62 (sistema de cogeração com termo-acumulação).
- A cogeração quando associada a sistemas de condicionamento de ar, apresenta melhores indicadores econômicos com a inserção de tanques de termo-acumulação de água gelada, propiciando um TRI menor em relação ao sistema de cogeração simples.

REFERÊNCIAS

- Cristaldo, MF, Ortega, JM,. Análise econômico-financeira da utilização do gás natural em sistemas de cogeração aplicados a instalações industriais. *Revista Produção. Associação Brasileira de Engenharia de Produção*. Vol.IX, No. II. 2009.
- Balestieri JAP. Cogeração: geração combinada de eletricidade e calor. Capítulo 1. Florianópolis: *Ed. da UFSC*, 2002.
- Ernst MAB, Balestieri JAP., Influences of thermal and electric load fluctuations in the cogeneration attractiveness. *Applied Thermal Engineering* 26, 1500-1505, 2006.

4. Khan, KH., Rasul MG, Khan MMK., Energy conservation in buildings: cogeneration and cogeneration coupled with thermal-energy storage. *Applied Energy* 77, 15-34, 2004.
5. Evangelista F., Uma análise técnico-econômica da cogeração com gás natural aplicada ao setor terciário, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. PPGEM. Dissertação de Mestrado.106p. 1999.
6. Silveira, JL., Cogeração Disseminada para Pequenos Usuários: Estudo de Casos para o Setor Terciário, *Tese de Doutorado, UNICAMP*, Campinas. 1994.
7. Tessmer, RG., Cogeneration and Wheeling of electric Power, *PennWell Publishing Company*, Tulsa, 1995
8. Stachel, K., Fruttschi, HU., Haselbacher, H. Thermodynamic heating with various types of cogeneration plants and heat pumps. *International Cogen-turbo Symposium and Exhibition*, vol. 117, nº2, pp. 251-258. 1995.
9. Dorgan *et al.* Application Guide for Absorption Cooling/Refrigeration Using Recovered Heat. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc.*, Atlanta. 1995.
10. Dorgan *et al.*, Design Guide for Cool Thermal Storage. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc.*, Atlanta. 1994.
11. Hay, N., Guide to Natural Gas Cogeneration, *The Fairmont Press, Inc.*, Lilbum. 1992.
12. Biezma, MV, Cristóbal, JRS., Investment criteria for the selection of cogeneration plants - a state of the art review. *Applied Thermal Engineering* 26, 583-88. 2006.

NOMENCLATURA

α	quociente entre as energias eletro-mecânica e térmica consumidas
β	quociente entre as energias eletro-mecânica e térmica útil produzidas pela máquina térmica motriz
TRI	tempo de retorno do investimento (anos)
IVL	investimento líquido (em R\$)
ECN	economia anual gerada (em R\$)
i	taxa de atratividade