

Análise técnico-econômica da cogeração com termoacumulação aplicada ao setor terciário

Technical-economic analysis of cogeneration with thermal storage applied in tertiary sector

Francisco de Assis Oliveira Fontes¹
Cleiton Rubens Formiga Barbosa¹
Francisco Evangelista Junior²
Igor Marcel Gomes Almeida³

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte,
Departamento de Engenharia Mecânica, Núcleo de Máquinas
e Sistemas Térmicos
cleiton@ufrnet.br
franciscofontes@ufrnet.br

²Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
evangelista@yahoo.com.br

³Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio
Grande do Norte, Departamento de Refrigeração e
Climatização, Campus Santa Cruz
igor.almeida@cefetm.br

Abstract: Currently, the tertiary sector is one of the major determinants of growth as far as electricity consumption in Brazil is concerned. Large commercial and public buildings, supermarkets and shopping centers stand out as major consumers of electricity, used for lighting, power and thermal energy. Brazil has significant potential for the deployment of small cogeneration plants, especially in the tertiary sector. In this context, this paper presents a technical-economic analysis of cogeneration with thermal storage in the tertiary sector based on the use of internal combustion engines with natural gas. In the energy efficiency analysis, for the sample cogeneration and the cogeneration with thermal storage, the american PURPA criterion was used. The economic evaluation consists of calculating the time of investment return (TRI). The results revealed that the insertion of cold water storage provides an increase in the energy efficiency of the cogeneration system and reduction in the capacity of the refrigeration system. As far as economic aspects are concerned, a shorter time of investment return is achieved.

Keywords: cogeneration, natural gas, thermal storage, economical analysis, energy efficiency.

Resumo: Atualmente, o setor terciário é um dos maiores responsáveis pelo crescimento do consumo de energia elétrica no Brasil. As grandes edificações comerciais e públicas, hipermercados e shopping centers se destacam como grandes consumidores de energia elétrica, utilizada basicamente para fins de iluminação, potência motriz e energia térmica. O Brasil apresenta expressivo potencial para a implantação de pequenas plantas de cogeração, sobretudo no setor terciário. Nesse contexto, o presente artigo apresenta uma análise técnico-econômica da cogeração com termoacumulação no setor terciário baseada no uso de motores de combustão interna a gás natural. Na análise da eficiência energética, para as configurações de cogeração simples e cogeração com termoacumulação, utilizou-se o critério americano PURPA. A avaliação econômica consiste do cálculo do tempo de retorno do investimento (TRI). Os resultados obtidos revelaram que 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, eficiência energética.

1 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. Dentro da economia nacional, os prédios financeiros e os comerciais juntos representam uma grande parcela de energia elétrica no setor comercial, cerca de 24,6%. Os shoppings centers possuem um consumo de energia elétrica para o condicionamento de ar ambiente na faixa de 30 a 50%, sendo responsáveis por 17% do consumo de energia elétrica do segmento varejista [1]. Aliado a esse contexto, a possibilidade de fornecimento de gás natural e as exigências crescentes em favor da preservação do meio ambiente abrem perspectivas promissoras para a implantação de plantas de cogeração.

O Brasil apresenta 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 água gelada para refrigeração. O alto custo da energia elétrica, associado ao crescimento significativo no consumo dessa fonte de energia, abre caminho para a instalação de centrais de cogeração que atendam necessidades elétricas e térmicas do comércio [2].

O relatório de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável de 2008, divulgado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), aponta que os mecanismos de melhoria na eficiência no uso de energia ainda são incipientes. Segundo os dados apurados no decorrer de uma década, entre 1996 e 2006, o consumo de energia no país cresceu 37,37%, sendo que o índice de eficiência energética avançou apenas poucas casas decimais [3].

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 [4]. Uma das principais dificuldades à implantação de sistemas de cogeração nesse 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 dessas demandas, faz-se necessária a interligação dos sistemas elétricos do autoprodutor e da empresa de distribuição de energia local, possibilitando assim a comercialização das faltas e dos excedentes elétricos, prática já consolidada em outros países.

A grande vantagem da utilização da termoacumulação é a de associar o atendimento da carga térmica de uma edificação, seja ela industrial ou comercial, consumindo energia nas horas de menor tarifação e demanda. Também é largamente utilizada quando a carga térmica inicial é incrementada, seja pela ampliação da capacidade de produção da indústria ou pelo aumento de áreas que devam ser climatizadas numa edificação comercial [5]. De forma mais concisa pode-se definir a termoacumulação como um sistema que troca calor com o meio acumulador durante os períodos de menor demanda, armazenando energia a baixa temperatura (frio) para ser usada em períodos de maior demanda [6]. De acordo com Dorgan e Elleson apud Sampaio et al. [7], os meios comumente utilizados para acumulação de calor latente são: água-gelo e materiais de mudança de fase "pcm". O gelo possui duas vantagens principais sobre o uso da água. Uma é que muito mais energia pode ser armazenada em um dado volume e a outra é que o gelo sempre funde numa temperatura fixa, independente da carga da unidade de armazenamento.

A utilização de água gelada faz uso da capacidade de calor sensível da água para estocagem de frio. A água é utilizada em parte pelo seu alto calor específico em relação a outros materiais comuns [8]. A água gelada é geralmente gerada e armazenada em temperaturas entre 4,5 e 5,5°C. Essas temperaturas são compatíveis com os sistemas convencionais dos resfriadores de água (chillers) e sistemas de distribuição. O custo inicial de um sistema que contemple a estocagem de água gelada é reduzido com o aumento da carga térmica que deve ser atendida, ou seja,

a implantação do sistema com tanques de termoacumulação de água gelada acaba custando menos se comparado com um sistema sem termoacumulação [5].

Do ponto de vista térmico, as soluções técnicas muitas vezes não correspondem às expectativas econômicas. Ernst e Balestieri [7] 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, além da geração térmica ser especialmente atrativa em situações onde a eletricidade é comercializada a um preço justo. A utilização de tanques de termoacumulação de água gelada, inseridos no circuito de ar condicionado se apresenta como uma alternativa de grande potencial técnico e econômico para atenuar essas oscilações térmicas. Segundo Khan et al. [8], o uso de termoacumuladores é uma prática eficiente para transferir carga elétrica sob determinado período fora de pico de consumo para diferentes tipos de estruturas de taxas de energia elétrica e tem um efeito significativo em certos tipos de edifícios e localizações geográficas. Sampaio et al. [9] constataram que a estratégia de termoacumulação com carga total, onde se faz o deslocamento da demanda elétrica do horário de ponta para o horário fora de ponta, mostrou-se mais econômica, com uma redução mensal da ordem de 26,7% do consumo e 35,1% da demanda.

Essa tecnologia permite alterar o fator de carga do sistema, deslocando o período de pico de carga para um período em que os custos de eletricidade são baixos. Os modelos de otimização de centrais de cogeração, quer seja no âmbito do projeto ou quer seja da operação, apresentam-se em duas vertentes, sendo a dos modelos termoeconômicos aquela que maior destaque vem apresentando no meio acadêmico. O método aplicado neste artigo para avaliação técnico-econômica foi o PURPA (Public Utilities Regulatory Policies Act), que prevê obrigatoriamente a existência de uma concessionária de energia elétrica para compra do excedente produzido pelas instalações de cogeração. Essa política americana foi a que mais incentivou o desenvolvimento de sistemas de cogeração. Os elementos centrais do PURPA são a qualificação prévia e a remuneração pelo custo evitado. A qualificação, feita em esfera federal pela FERC (Federal Energy Regulatory Commission), assegura que somente os autoprodutores eficientes, como são os cogeneradores, poderão receber as vantagens e os estímulos colocados pelo PURPA, como a obrigação por parte das concessionárias de prover as condições para interligação, fornecer uma capacidade de reserva e remunerar adequadamente os excedentes. O outro conceito fundamental no PURPA, o custo evitado, representa o valor pelo qual as concessionárias têm que adquirir energia dos cogeneradores qualificados, e deve traduzir o custo marginal que uma central evita comprando energia que deveria gerar. Em outras palavras, deveria ser indistinto para uma concessionária gerar sua energia ou comprar sua energia de um cogenerador [10].

Este artigo tem como objetivo o estudo de viabilidade técnico-econômica visando à implantação de sistemas de cogeração associados a sistemas de ar condicionado com uso de termoacumuladores de água gelada, aplicada ao setor terciário. A metodologia desenvolvida adota o critério norte-americano de qualificação de plantas de cogeração PURPA assim como do tempo de retorno do investimento, tanto para sistemas de cogeração simples quanto para sistemas de cogeração com termoacumuladores de água gelada. Um estudo de caso é realizado a partir das demandas elétricas e térmicas horárias de uma empresa localizada em Natal, Rio Grande do Norte [11].

2 Configurações e Tecnologias Aplicadas

A opção por sistemas de cogeração, de modo geral, é definida por condicionantes estritamente econômicos, adotados somente quando se observam reduções substanciais nos custos de energia. Na análise financeira, são consideradas as seguintes variáveis: custos de instalação, operação e manutenção; tarifas de energia elétrica (atuais e futuros), preço e disponibilidade do combustível, incentivos fiscais e retorno financeiro [12].

Na configuração denominada convencional, o sistema de ar condicionado é do tipo por expansão indireta com circulação de água gelada e utiliza unicamente como unidades de refrigeração chillers elétricos por compressão de vapor. Esta característica faz com que as demandas elétrica e térmica de refrigeração deste setor sejam supridas exclusivamente pela rede de distribuição de eletricidade local.

Entre os setores potencialmente viáveis a implantação de sistemas de cogeração está o setor terciário. Esse setor envolve segmentos tais como hospitais, hotéis, motéis, universidades, escolas, shopping-centers, restaurantes, e empresas de pequeno porte. Esses segmentos apresentam requerimentos térmicos em menor escala, quando comparado ao setor industrial.

Nem todas as tecnologias de cogeração são aplicáveis a qualquer segmento, devendo-se estabelecer critérios de escolha das tecnologias em função da aplicação a que se destina, de modo a viabilizar técnica e economicamente a instalação. Dentre o conjunto de opções tecnicamente viáveis, a escolha da tecnologia mais adequada para uma determinada aplicação deve ser feita de forma cuidadosa, estabelecendo critérios quanto aos aspectos a serem considerados. Um aspecto de grande importância é a verificação da disponibilidade de combustíveis adequados às tecnologias a um custo relativamente baixo. É também importante existir uma consistência entre as características de demanda do estabelecimento (eletricidade, calor e combustível) e as características de capacidade de produção de eletricidade e de recuperação de calor do sistema de cogeração escolhido.

Outro aspecto importante é referente aos impactos ambientais associados à implementação de uma dada tecnologia. Os

aspectos relativos aos custos de investimentos necessários, bem como os gastos com operação e manutenção dos sistemas, são também bastante relevantes. O ponto crucial para escolher a tecnologia adequada a um determinado segmento terciário é relacionar as características de consumo de energia do segmento com as características de produção de energia do cogenerador. Deve-se então recorrer a dois parâmetros dimensionais: um para caracterizar o segmento terciário onde se deseja instalar a tecnologia de cogeração e outro para caracterizar o sistema escolhido.

As configurações estudadas contemplam duas opções: a primeira, denominada cogeração simples, compreende um sistema de cogeração a gás natural que supre as demandas de energia elétrica e térmica de refrigeração, esta última mediante uma unidade de absorção que utiliza como insumo a energia térmica rejeitada pela máquina motriz; a segunda contempla, além do sistema de cogeração simples, um tanque de termoacumulação de água gelada que é inserido no circuito de ar condicionado. Essa configuração é denominada cogeração e termoacumulação, como apresentado na Figura 1, e é constituída de moto-gerador (MG), unidade de recuperação térmica (URT), bomba de distribuição de água gelada (BD), unidade de refrigeração por compressão a vapor (URC), unidade de refrigeração por absorção (URA), tanque de termoacumulação de água gelada (TT) e torre de resfriamento (TR).

Os segmentos do setor terciário podem ser caracterizados, do ponto de vista da demanda energética associada, como consumidores de energia elétrica ou mecânica e de energia térmica. Baseado nesse fato, é possível definir o parâmetro adimensional α (ALFA), característico de cada segmento com variações em função do tipo de tecnologia empregada, como definido pela equação 1.

$$\alpha = \frac{E}{S} \quad (1)$$

onde E é a energia elétrica e/ou mecânica consumida no segmento (kW), S é a energia térmica consumida no segmento (kW). A tabela 1 apresenta alguns valores do parâmetro ALFA para diversos segmentos do setor terciário.

Tabela 1: Valores de α para alguns segmentos

Setor Terciário	Parâmetro ALFA
Hospitais	0,500
Hóteis/Motéis	0,600
Restaurantes	0,600
Universidades	0,600
Lojas de varejo	4,300

Analogamente à caracterização do segmento terciário, o sistema de cogeração pode ser esquematizado em função dos fluxos energéticos associados, de modo a permitir a sua caracterização por meio de um parâmetro adimensional β (BETA), definido pela equação 2.

$$\beta = \frac{E'}{S'} \quad (2)$$

onde E' representa a energia elétrica e/ou térmica produzida (kW) e S' a energia térmica produzida (kW). O valor de β (BETA) depende do tipo de tecnologia de cogeração utilizada e das condições de operação. Dorgan [9] reporta valores entre 0,4 a 1,0 para as tecnologias utilizando motores de combustão interna (ciclo Otto ou Diesel).

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 [13] e Tesmer et al. [14] para os parâmetros α (quociente entre as energias eletro-mecânica e térmica consumidas) e β (quociente entre as energias eletro-mecânica e térmica GGI produzidas pela máquina térmica motriz) e no investimento em pequenas plantas de cogeração segundo 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.

De acordo com Balestieri [2] a razão potência/calor da geração para os motores de combustão interna apresenta os maiores valores dentre os demais ciclos térmicos disponíveis (ciclo vapor, ciclo gás e combinado), além de apresentarem menores índices de investimento (payback) em relação aos demais ciclos e confiabilidade equivalente às turbinas a gás aeroderivativas, em torno de 98%. Segundo Dorgan [16] a temperatura recomendada para utilização de água quente em unidades de refrigeração por absorção de simples efeito varia entre 115 e 150°C. Nessas faixas de temperatura, praticamente toda energia térmica rejeitada através da água de refrigeração do bloco do motor e parcialmente pelos gases de exaustão são utilizáveis, cuja temperatura não deve ser inferior a 150°C, de modo a evitar a formação de condensado ácido nos permutadores e dutos de exaustão. Num sistema de termocumulação com água gelada, a água é refrigerada por unidades resfriadoras de líquidos (chillers) e armazenada em tanques de aço ou concreto a temperaturas que variam entre 4 a 7°C. Parsons [17] afirma que o interesse pela termocumulação 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.

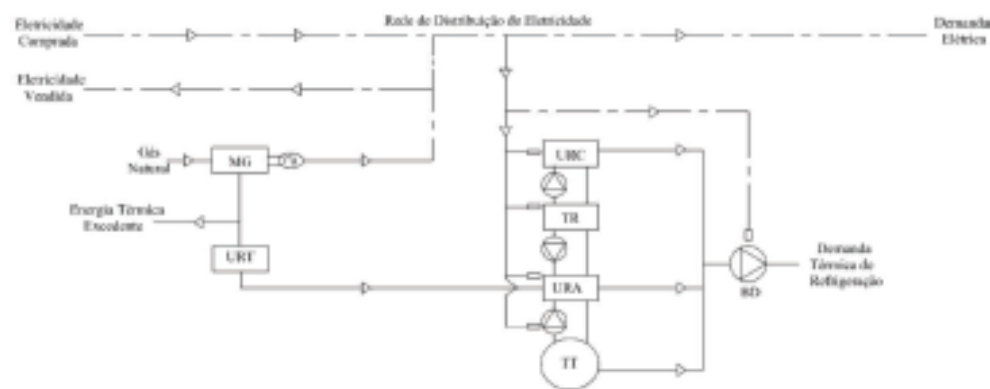


Figura 1: Configuração com cogeração e termocumulação.

3 Metodologia

A metodologia de avaliação utilizada neste artigo é aplicável às empresas do setor terciário, em especial as públicas e comerciais, que possuam demandas simultâneas de energia elétrica inferior a 1 MW e térmica de refrigeração para fins de condicionamento de ar superior a 100 toneladas de refrigeração. As seguintes premissas foram 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 expansão indireta centralizado com circulação de água gelada em serpentinas (fan coil).
- Prioritariamente, a demanda térmica de refrigeração é suprida pelo sistema de refrigeração por absorção através do tanque de termoacumulação e complementarmente pelo sistema de refrigeração por compressão de vapor.
- A capacidade do tanque de termoacumulação é dimensionada considerando acumulação parcial da carga térmica e ciclo diário de carga. A carga do sistema de termoacumulação 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 pelas equações 3 e 4. Onde EE é a eficiência energética, EEP a energia elétrica produzida, ETUP a energia térmica útil produzida e ECC a energia combustível consumida.

$$EE = \frac{EEP + ETUP}{ECC} \quad (3)$$

$$EP = \frac{EEP + ETUP}{2} \quad (4)$$

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 baseada no ciclo de absorção e sistema de termoacumulação 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. O TRI é definido pela equação 5,

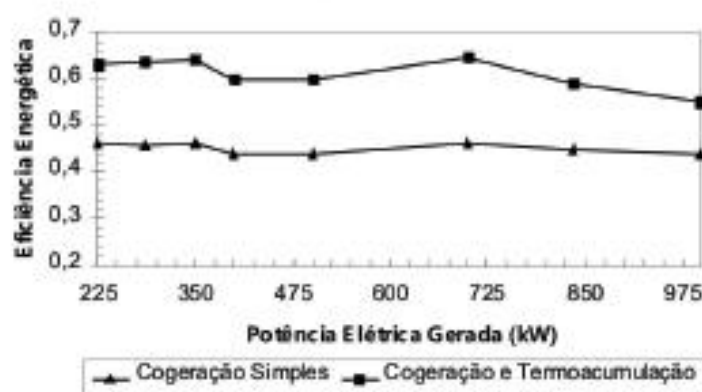
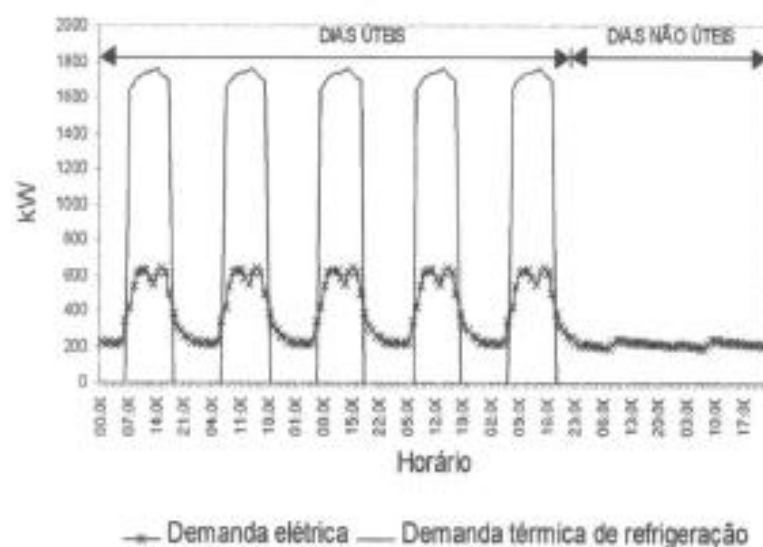
$$TRI = \frac{\ln[1 - i \cdot (IVL / ECN)]}{-\ln(1 + i)} \quad (5)$$

sendo TRI o tempo de retorno do investimento (anos), IVL o investimento líquido em equipamentos (US\$), ECN a economia gerada pela autoprodução de energia elétrica (US\$) e i a taxa anual de desconto (%).

Tabela 2: Custo de aquisição de equipamentos.

Equipamento	Custo de aquisição	Variáveis
Moto-gerador a gás	$Y = 1098,2 \cdot X^{0,787}$	Y - US\$/kW X - kW elétrico gerado
Unidade de Recuperação Térmica	$Y = 1961,4 \cdot X^{0,5261}$	Y - US\$/kW X - kW térmico recuperado
Unidade de Refrigeração por Compressão de Vapor (Chiller)	$Y = 3359,2 \cdot X^{0,2897}$	Y - US\$/TR X - TR (tonelada de refrigeração)
Unidade de Refrigeração por Absorção (Chiller)	$Y = 4364,8 \cdot X^{0,3888}$	Y - US\$/TR X - TR

A tabela 2 apresenta as equações que governam os cálculos dos custos de aquisição de equipamentos da planta de cogeração, onde as variáveis Y são referentes aos custos e as variáveis X referentes às capacidades.



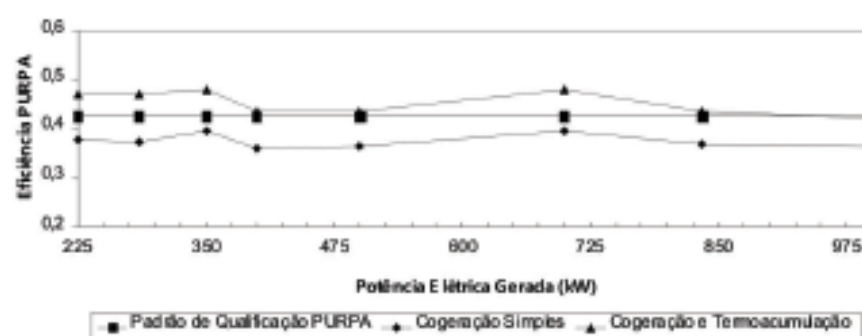


Figura 4: Evolução do padrão de qualificação PURPA (0,425) e das eficiências energéticas para as configurações adotadas.

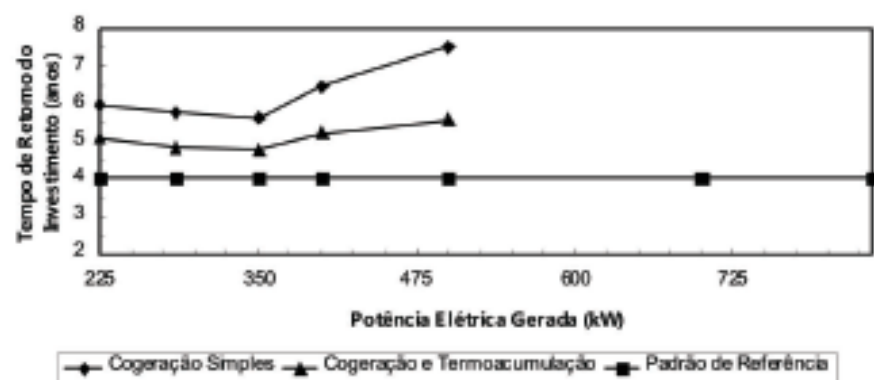


Figura 5: Evolução do TRI com tributos em função da potência elétrica gerada.

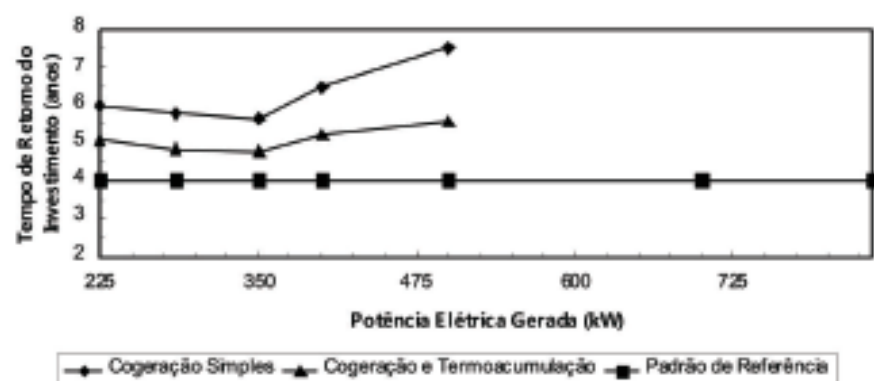


Figura 6: Evolução do TRI sem tributos em função da potência elétrica gerada.

Tabela 3: Custos das tecnologias envolvidas.

Unidades	Custo (US\$/kW)		
	100-500 (kW)	500-1000 (kW)	1000-2500 (kW)
Motocogerador	600-500	500-480	480-400
Recuperação térmica	120-80	80-50	50-40
Refrigeração por absorção	1000-750	750-600	600-580
Refrigeração por compressão	800-500	500-420	420-400

Tabela 4: Custos de equipamentos de termocumulação em função da capacidade.

Unidade	Custo (US\$/m³)		
	300-1000 (m³)	1000-3000 (m³)	3000-25000 (m³)
Termocumulação	260-200	200-140	140-80

4 Estudo de Caso

O estudo realizado teve como base as instalações de uma empresa localizada no município de Natal, Rio Grande do Norte. O período de funcionamento é de segunda-feira a sexta-feira, no horário entre 8h30min às 17h30min. Os perfis de demanda de potência elétrica e térmica de refrigeração medidas se encontram representados em dias úteis e não úteis, na Figura 2. As evoluções das eficiências energéticas e do padrão de qualificação PURPA em função da potência elétrica gerada (ver figura 2), calculadas de acordo com as equações 1 e 2, encontram-se representadas nas figuras 3 e 4.

Analisando as figuras 3 e 4, constata-se que a eficiência energética do sistema de cogeração e termocumulação 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 Estados Unidos, baseado no critério PURPA de eficiência, verifica-se que o sistema de cogeração e termocumulação 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.

Baseado em informações e cotações coletadas de fabricantes diversos, a tabela 3 apresenta a composição de custos para as tecnologias envolvidas na análise em questão e a tabela 4 os custos inerentes às instalações de termocumulação.

Os resultados 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 [8] 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 [2] 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 foi considerada 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 termocumulação quando comparado a cogeração simples apresenta um TRI menor em toda a faixa de potência avaliada, como mostra a figura 5. Na melhor situação (350 kW), o TRI cai de 10,7 para 7,7 anos. Entretanto, esse valor é ainda superior ao padrão adotado de 4 anos. 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. A tabela 5 apresenta os valores dos parâmetros considerados nas análises de acordo com ANEEL [19].

Tabela 5: Parâmetros considerados na análise econômica.

Parâmetro	Unidade	Valores
Taxa desconto anual	% /ano	10
Taxa de câmbio	R\$/US\$	1,8
Tarifa do gás natural	R\$/m³	1,5535 (com impostos e encargos)
Tarifa elétrica	R\$/kWh	0,8998 (ponta) 0,1487 (fora de ponta)

O consumo de gás natural previsto foi considerado como sendo de 9001 m³/mês, com 17% de ICMS e 9,25% de PIS/COFINS, de acordo com fatura mensal da COPERGÁS.

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 termocumulação 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 termocumulação, 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 esses sistemas com termocumulação acoplada à cogeração é inferior aos sistemas apenas com cogeração. Os autores citam também que a introdução do sistema de termocumulação pode reduzir em torno de 20% a demanda de pico.

5 Conclusões

As principais conclusões obtidas com o estudo de caso realizado foram as seguintes:

- A inserção de tanques de termocumulação de água gelada propicia um aumento da eficiência energética do sistema de cogeração.
- A eficiência energética aumenta na média de 0,5 (sistema de cogeração simples) para 0,62 (sistema de cogeração com termocumulação).
- De acordo com o critério PURPA de eficiência, verifica-se que o sistema de cogeração com termocumulação 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.
- A cogeração quando associada a sistemas de condicionamento de ar apresenta melhores indicadores econômicos com a inserção de tanques de termocumulação de água gelada, propiciando um TRI menor em relação ao sistema de cogeração simples.

6 Agradecimentos

Agradecemos ao CTGAS-ER, Natal, Laboratório de Energia da UFRN, Núcleo de Máquinas e Sistemas Térmicos da UFRN e ao IFRN pelo apoio financeiro.

7 Referências

- CRISTALDO, M.F. et al. 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, J.A.P. Cogeração: geração combinada de eletricidade e calor. Florianópolis: **Editora da UFSC**. 2002.
- ERNST, M.A.B. et al. Influences of thermal and electric load fluctuations in the cogeneration attractiveness. *Applied Thermal Engineering* 26, 1500-1506, 2006.
- KHAN, K.H. et al. Energy Conservation in Buildings: Cogeneration and cogeneration coupled with thermal-energy storage. *Applied Energy* 77, 15-34, 2004.
- EVANGELISTA, F.J. Uma Análise Técnico-Econômica da Cogeração com Gás Natural Aplicada ao Setor Terciário. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. PPGEM. **Dissertação de Mestrado**. 1996.
- SILVEIRA, J.L. Cogeração Disseminada para Pequenos Usuários: Estudo de casos para o setor terciário. Tese de Doutorado. UNICAMP. Campinas. 1994.

- TESSMER, R.G. et al. Cogeneration and Wheeling of Electric Power. **PennWell Publishing Company**, Tulsa, 195 p. 1995.
- STACHEL, K. et al. Thermodynamic heating with various types of cogeneration plants and heat pumps. *International Cogen-Turbo Symposium and Exhibition* Vol.117, No.2, pp. 251-258. 1995.
- DORGAN, C.B. Application Guide for Absorption Cooling/Refrigeration Using Recovered Heat. *Fuel and Energy Abstracts* 37, No. 2, pp. 131-131. 1996.
- PARSONS, B. Design Guide for Cool Thermal Storage. **American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers**. Inc. Atlanta. 1994.
- HAY, N. Guide to Natural Gas Cogeneration. **American Gas Association**. The Fairmont Press, Inc., Liburn. 1992.
- BIEZMA, M.V. et al. Investment Criteria for the Selection of Cogeneration Plants – A state of the art review. *Applied Thermal Engineering* 26, pp.583-588. 2006.
- AZEVEDO, J.B.L. Consumo de Energia Elétrica da Classe Comercial: Caracterização e Metodologia. **XVI SNPTTE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica**. 2001.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Consumo de Energia Elétrica cresceu 37% em uma década.
- PAVAN, L.B.B. Termocumulação: Gelo ou Água?. **Monografia Apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul**. 30 p. 2004.
- ASHRAE Handbook**. Thermal Storage – Applications. 1999. Inc., Atlanta.
- SAMPAIO, K.A. et al. Estudo do Consumo Energético entre Sistemas com e sem Termocumulação no Condicionamento de Ambientes. **MERCOFRIO 2008 – Congresso de Ar Condicionado, Refrigeração, Aquecimento e Ventilação do Mercosul**. 2008. Curitiba-PR.
- NOGUEIRA, L.A.H. et al. Oportunidades com a Cogeração: Introdução à Cogeração. **Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE)**. Escola Federal de Engenharia de Itajubá. 18 p. 1997.
- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Resolução 894 de 20/10/2009.