

ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA DE SISTEMA DE COGERAÇÃO DE ENERGIA PARA SUPERMERCADOS

Marcos Scaramussa Jr, marcos.scaramussa.jr@gmail.com¹

Julio Augusto M. da Silva, julio.silva@ufba.br¹

Ednildo Andrade Torres, ednildo@ufba.br¹

Felipe Cunha, fbarroco@bmeg.com.br¹

¹ Universidade Federal da Bahia (UFBA), Rua Professor Aristίδes Novis, No 02, Bairro Federação, Salvador - BA, CEP: 40.210-630.

Resumo: A viabilidade técnica de um sistema de cogeração de energia, baseado em motor de combustão interna a gás natural e chiller por absorção foi investigada. Projetos que atendam à crescente demanda de diversificação da oferta energética em nosso país já são bem estudados, mas o alinhamento entre as modernas legislações de incentivo e regulação com as tecnologias disponíveis no mercado para aplicação em supermercados não são bem compreendidas. A metodologia de estudo foi dividida em: Mapeamento das restrições e exigências de projeto no que diz respeito à legislação da cogeração qualificada e compensação de energia; Levantamento da carga térmica e elétrica em um estudo de caso; Modelagem da planta de cogeração para atender o estudo de caso; Avaliação por meio de indicadores técnicos. Os resultados demonstram a viabilidade técnica do sistema junto com uma projeção diária do faturamento da energia após a implantação do sistema de cogeração. Tais informações são importantes, pois apresentam um estudo prático da aplicação do sistema em um dos principais consumidores de energia no setor comercial, além de estimular os estudos e o amadurecimento dos incentivos à cogeração no Brasil.

Palavras Chave: Cogeração, Motor de combustão interna a gás natural, Chiller por absorção, Supermercado, Geração distribuída.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o Brasil vivenciou diversas crises energéticas, desde as causadas pelas mudanças climáticas às relacionadas a problemas da gestão pública. Como forma diminuir o risco de novos contratemplos no quesito do fornecimento da energia elétrica, o país resolveu mudar a sua matriz energética, de modo a diversificar a geração da energia e diminuir sua dependência da geração hidrelétrica.

Associado às novas tendências de mudança da matriz energética, o governo brasileiro seguiu os países desenvolvidos, que utilizam modernas legislações de incentivo a diversificação da matriz e estimulam a geração de energia mais eficiente (Maidment, 1999). A partir disso foram criadas novas legislações com o objetivo de beneficiar e qualificar o gerador de energia elétrica eficiente, a exemplo da Resolução 235 de 2006 e Resolução 482 de 2012, ambas da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Recentemente, novas tecnologias de geração energética foram incluídas ao sistema integrado nacional (SIN) graças ao aumento da demanda e incentivos governamentais. O sistema de cogeração de energia por meio de motores de combustão interna e chillers por absorção é uma destas tecnologias, pois tem a capacidade de fornecer ao mesmo tempo energia elétrica e térmica a um determinado empreendimento, por meio de uma geração eficiente, menos custosa e com reduzida emissão de poluentes (Arteconi, 2009).

Apesar dos motores de combustão interna a gás natural serem grandes emissores de CO₂, o trabalho em conjunto com o chiller por absorção proporciona uma redução substancial da emissão do poluente, que é proporcional à energia consumida pelo chiller (Lórez-Orrego, 2014). Desse modo, os sistemas de cogeração de energia são conhecidos por serem altamente eficientes e por proporcionarem uma geração ambientalmente favorável, com a redução na emissão dos gases do efeito estufa, se comparado com os meios tradicionais de geração (Moussawi, 2017).

Portanto, a análise de possíveis combinações entre tecnologias disponíveis no mercado como motores alternativos de combustão interna, motores rotativos de combustão interna de fluxo contínuo e diversos tipos de chillers por absorção (simples efeito, duplo efeito, alimentados por água quente, gás exausto, vapor, etc) dentro dos limites estabelecidos para micro e minigeração pode indicar combinações viáveis tecnicamente e ambientalmente favoráveis (Isa, 2017).

Em função dos seus 8,5 milhões de quilômetros quadrados, o Brasil é um país continental e possui um mercado produtor e consumidor bastante diversificado. Dentre os mais diversos empreendimentos comerciais, os supermercados são os principais consumidores de energia elétrica (Baxter, 2005) em função da constante necessidade de refrigeração dos alimentos (Office of Natural Resources, 2003).

Partindo desse cenário, o presente trabalho oferta como contribuição científica, a análise de viabilidade técnica de sistemas de cogeração de energia, aplica a legislação brasileira da geração qualificada e do sistema de compensação de energia e faz uma análise técnica prática, associada a um estudo de caso real em um supermercado no Brasil.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A escolha da utilização do motor de combustão interna a gás natural associado ao chiller por absorção se deu em função da vasta quantidade de estudos com essa configuração, nos quais são encontrados resultados com alta eficiência energética, fornecimento de água a temperaturas ideais para um bom funcionamento do sistema de refrigeração e consequentemente, uma redução substancial da conta de energia elétrica (Ackermann, 2001; Sugiarta, 2009; Moussawi, 2017 e Colonna, 2003). Além disso, o gás natural possui uma baixa relação C/H o que contribui para uma baixa emissão de CO₂ se comparado ao diesel ou a outros combustíveis de origem fóssil.

Em supermercados, boa parte da carga térmica é direcionada para as racks de baixa (RBT) e média temperatura (RMT), onde estão localizados os alimentos congelados e resfriados, respectivamente. Esse equipamentos devem funcionar 24 horas por dia e o fornecimento da energia não deve ser interrompido de forma alguma, sob pena de gerar grandes prejuízos para o empreendimento.

Arteconi (2009) realizou um estudo para implantação um sistema de cogeração e trigeração em um supermercado na Itália. O trabalho foi realizado em um supermercado já em operação e a metodologia consistia em adicionar o motor a combustão e o chiller por absorção para o empreendimento já em funcionamento. Utilizou-se um motor a combustão interna a gás natural e chiller por absorção operando com brometo de lítio (LiBr) e água. Preferiu-se utilizar o chiller com LiBr pois esses equipamentos possuem uma tecnologia mais padronizada e moderna, além de possuir maior COP (*Coeficiente de Performance*) que os chillers que operam com amônia e água. Os resultados encontrados, no cenário proposto para atender toda a carga térmica e elétrica do empreendimento, direcionam para uma total viabilidade do sistema, com retorno sobre o investimento de 7 anos por meio de uma redução substancial da conta de energia elétrica; porém demonstra uma preocupação que a viabilidade do projeto está diretamente relacionada às legislações de incentivo naquele país e ao preço baixo do gás natural.

Maidment *et al.* (1999), estudaram a implantação de um sistema de cogeração em um pequeno supermercado, aproveitando que esse tipo de sistema faz parte da estratégia ambiental do Reino Unido para redução da emissão de poluentes e aumento da eficiência energética. Eles mencionam que a indústria de alimentos consome boa parte do total da energia elétrica naquele país e que boa parte desse consumo está relacionado com a refrigeração do ambiente comercial e dos alimentos. Sua metodologia consistiu em mapear a carga térmica e elétrica do empreendimento por meio de uma análise diária e detalhamento dos horários de maior necessidade de carga. O estudo inicial envolveu somente a adição do motor a combustão interna, porém percebeu-se uma grande perda de energia por meio dos gases exaustos direcionados para atmosfera. O segundo estudo foi feito com a adição do chiller por absorção ao sistema e os resultados encontrados foram uma economia de energia em mais de 20% frente ao sistema de consumo tradicional e *payback* de 6 anos, envolvendo o investimento do motor e do chiller. Destacaram também que não foi considerado prático acoplar o chiller para os racks de congelados, pois não se encontrou tecnologias no mercado capazes de operar sistema de cogeração de pequeno porte e oferecer temperaturas negativas.

Praticamente todos os pesquisadores utilizados como referência para esse trabalho encontraram resultados que indicam aumento da eficiência na produção da energia, direcionam a cogeração como ambientalmente favorável e a recomenda como alternativa para redução no custo da energia nos empreendimentos de seus países de origem (Maidment *et al.*, 1999; Arteconi, 2009; Isa, 2017; Sugiarta, 2009; Moussawi, 2017; Colonna, 2003 e López-Orrego, 2014).

3. APLICAÇÃO

A análise para implantação de um sistema de cogeração de energia foi desenvolvida em um supermercado típico e já em funcionamento, localizado na área metropolitana de Salvador – Bahia – Brasil. O empreendimento possui, em apenas um andar, uma área de vendas de aproximadamente 9.000 m², com equipamentos de ar condicionado, racks de congelados (RBT – Racks de Baixa Temperatura), racks de resfriados (RMT – Racks de Média Temperatura) instalados e em pleno funcionamento.

Além disso, possui um amplo estacionamento no subsolo e lojas terceirizadas que comercializam produto fora do escopo do empreendimento. Para o estudo de implantação do sistema, foram consideradas também as áreas dessas pequenas lojas, além da área total onde são comercializados os produtos do supermercado em questão. Funcionando 14 horas por dia, todos os dias da semana, o empreendimento possui um gerador a diesel que opera no horário de ponta (18:00 às 21:00 hs), com o objetivo de diminuir o consumo da energia nesse período de tarifas mais elevadas. A Tab. 1 mostra as características básicas do empreendimento:

Tabela 1. Parâmetros característicos do supermercado em estudo

Parâmetros	
Área de vendas (m ²)	9.000
Horário de funcionamento	das 7:00 às 21:00 hs
Dias de funcionamento	7 dias por semana
Gerador a diesel (<i>prime mover</i>)	456 kVa / 365 kW
Demanda contratada junto à concessionária	280 kW (Grupo A)

Fonte: Autor

O supermercado possui demanda contratada de 280 kW junto à concessionária de energia elétrica, que fatura a energia baseado nas tarifas de clientes do Grupo A (alta tensão). As tarifas desse grupo são de 0,33977 R\$ / kWh para horário de ponta e 0,22443 R\$ / kWh para horário fora de ponta (considerando bandeira verde de faturamento). A fatura da energia elétrica, com o gerador a diesel em funcionamento para horários de ponta, para um mês típico indica um gasto diário no supermercado de aproximadamente R\$ 2.424,35 com energia elétrica, conforme Tab. 2.

Tabela 2. Fatura da energia elétrica em um mês de alto consumo (sem cogeração)

Energia (kWh)	Consumo Ponta (kWh)	Geração Ponta (kWh)	Consumo Fora de Ponta (kWh)	Diferença (kWh)	Custo de disponibilidade (R\$)	Valor total da Fatura (R\$)
152.850	32.850	32.850	120.000	120.000	3.488,66	72.730,69

Fonte: Autor

O empreendimento não possui ar condicionado central em função da alta taxa de manutenção e alto risco de insatisfação da clientela caso o empreendimento passe algum momento sem o funcionamento do mesmo. Desse modo, o supermercado funciona com 26 unidades de ar condicionado tipo Split, que são espalhados pelo empreendimento e funcionam junto com difusores que ajudam a refrigerar de forma uniforme todo o ambiente.

Para refrigeração e conservação dos alimentos, o empreendimento possui racks que funcionam com sistema de refrigeração por compressão. Esses dispositivos são divididos em racks de média temperatura (para alimentos que precisam ser resfriados, mas não congelados) e racks de baixa temperatura (para alimentos que precisam ser conservados em temperaturas negativas). Ambos os racks funcionam 24 horas por dia e todos os dias da semana, para manutenção, durabilidade e segurança na comercialização dos alimentos. Para refrigeração das áreas comuns, sistemas de ar condicionado tipo Split funcionam todos os dias da semana, porém apenas 14 horas por dia, que é o período de funcionamento do empreendimento. O detalhamento da carga térmica de refrigeração pode ser observado na Tab. 3:

Tabela 3. Carga térmica de refrigeração do empreendimento

Descrição	Quantidade	BTU / h	kWh/mês	kWh/mês Total
Ar Split	20	58.000	2.356	47.123
Ar Split	6	9.000	342	2.051
RBT	1	121.572	8.551	8.552
RMT	1	291.024	20.470	20.470
Total no mês:			78.196	

Fonte: Autor

No que diz respeito à carga elétrica, o montante necessário para o mês é de 83.206 kWh. Esse valor representa a quantidade de energia total para atender o funcionamento dos computadores, iluminação e os RBT (racks de baixa temperatura), que não serão atendidos pelo chiller por absorção e continuarão funcionando com equipamento por compressão.

4. PLANTA DE COGERAÇÃO

Dentre as principais tecnologias existentes no mercado que atendem às cargas térmica e elétrica do supermercado, foi escolhido um motor de combustão interna (MCI) a gás natural com potência de 200 kW / 250 kVA. O motor possui 6 cilindros em linha, carcaça e pistões em alumínio; e todo sistema de gerenciamento de potência feito de forma eletrônica. O consumo de combustível e eficiência do equipamento varia de acordo com a potência desejada e pode ser observado na Tab. 4:

Tabela 4. Consumo de combustível e eficiência do motor a combustão interna

Carga	Consumo do Gás Natural (m ³ /h)	Eficiência do MCI (%)
25%	25,5	7,09
50%	43,7	14,18
75%	59,0	21,28
100%	72,8	28,37

Fonte: Catálogo do fabricante

Os principais fabricantes de chiller por absorção dispõem basicamente de modelos que trabalham com amônia / água ou brometo de lítio (LiBr) / água. Os chillers com amônia possuem capacidade de fornecer água (refrigerante secundário) a temperaturas de até 40° C negativos (Arteconi, 2009 e Maidment, 1999), o que é excelente para utilização em supermercados, pois os mesmos possuem grandes seções de alimentos que devem ser congelados para comercialização. Os chillers que operam com LiBr não possuem capacidade de fornecer água a temperaturas negativas, em função da cristalização do brometo de lítio em baixas temperaturas (Marimón, 2011 e Ochoa, 2014). Isso é um ponto negativo para utilização em supermercados, pois o mesmo não consegue atender os racks de baixa temperatura (RBT).

Para o estudo em questão, não foi encontrado no mercado chillers por absorção que operam com amônia / água com capacidade de refrigeração necessária para atender o supermercado. Os equipamentos disponíveis possuem capacidade muito maior que a demandada pelo empreendimento, sendo esta demanda considerada pequena pelos fabricantes. Desse modo, foi selecionado um chiller que opera com LiBr/água para fornecimento da carga térmica para o sistema de ar condicionado e para os racks de média temperatura (RMT). O chiller selecionado utiliza água quente como fonte de alimentação térmica e as demais características podem ser observadas na Tab. 5.

Tabela 5. Características técnicas principais do chiller por absorção em estudo

Características	
Capacidade de refrigeração	106 kW
COP (Coeficiente de Performance)	0,827
Temperatura de saída do ciclo da água para refrigeração	5° a 8° C
Temperatura de entrada do ciclo da água para refrigeração	13° C
Temperatura de entrada da alimentação por água quente	95° C
Temperatura de entrada da alimentação por água quente	80° C
Fluido de operação	Brometo de Lítio / Água

Fonte: Catálogo do fabricante

Estudos demonstram que a viabilidade de implantação de sistemas de cogeração de energia está relacionada com a utilização do sistema, no mínimo, em boa parte da vida útil (alto fator de capacidade) dos empreendimentos (Maidment, 2000). Desse modo, a simulação desse projeto previu o funcionamento do sistema durante as 14 horas úteis do supermercado (horário de funcionamento). A Fig. 1 mostra o esquema de funcionamento dos equipamentos selecionados.

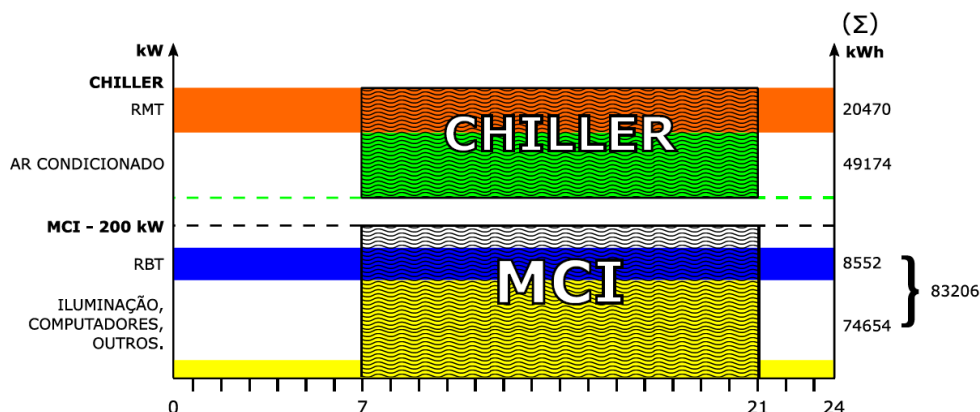


Figura 1. Esquema de utilização do sistema de cogeração do supermercado

Fonte: Autor

Durante as 14 horas de funcionamento do supermercado, o motor a combustão irá funcionar em plena carga, que será suficiente para alimentar racks de baixa temperatura (RBT), que continuarão sendo alimentados pela água gelada proveniente dos sistemas de refrigeração por compressão de vapor. O motor a combustão atenderá também a carga elétrica necessária para funcionamento da iluminação, computadores e demais equipamentos; e gerará um montante de energia elétrica extra que será injetada na rede e posteriormente consumida (sistema de compensação) no período em

que o supermercado estará fechado (10 horas), mas que precisa de energia para o funcionamento dos RBT, para iluminação da guarita de segurança e outdoor com a marca do empreendimento.

O funcionamento do chiller por absorção seguirá o funcionamento do motor e terá capacidade suficiente para atender todo o sistema de ar condicionado – que refrigera as áreas comuns – além dos RMT, utilizados em alimentos que precisam ser resfriados. Neste caso, no período que o supermercado estará fechado, haverá necessidade de compra da energia elétrica junto à concessionária para funcionamento dos racks de média temperatura. Nos cálculos foram considerados o custo de disponibilidade da demanda contratada de 280 kW junto à concessionária.

A Fig. 2 mostra o sistema de cogeração proposto, com detalhamento dos fluxos de energia térmica e elétrica gerados, o comportamento do refrigerante secundário no sistema e todos os componentes essenciais de uma planta funcional, tais como torres de resfriamento do motor e chiller, bombas centrífugas, válvulas de segurança e manômetros. O mapa completo com os cálculos das correntes do sistema de cogeração proposto pode ser analisado na Tab. 6.

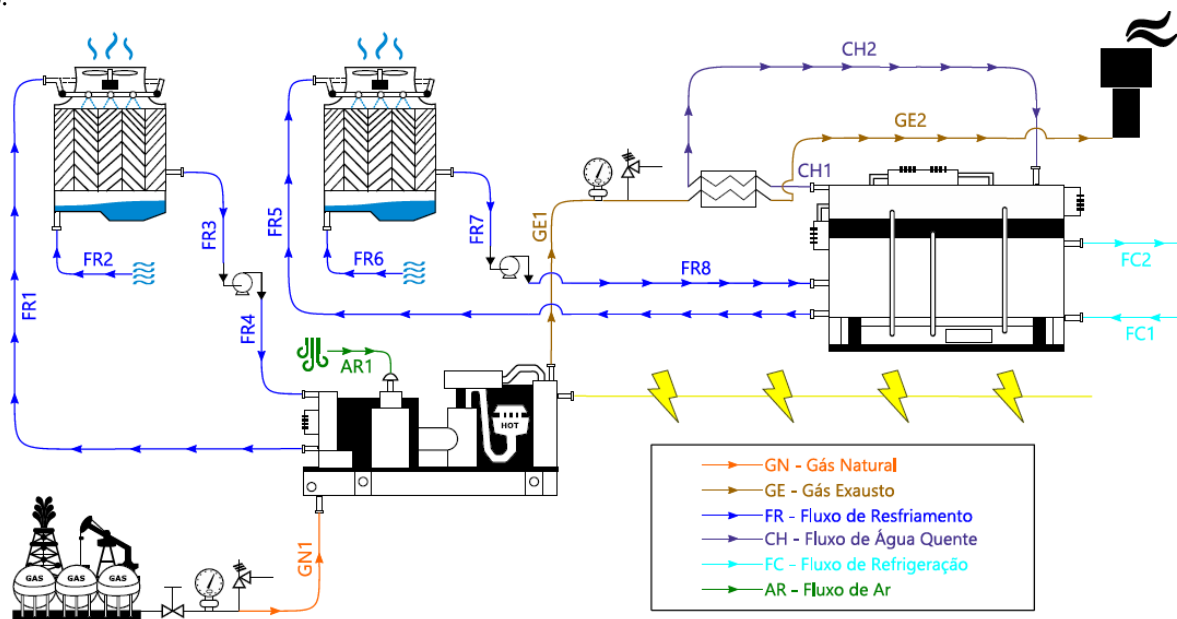


Figura 2. Modelo de sistema de cogeração de energia proposto para funcionamento no empreendimento

Fonte: Autor

Tabela 6. Mapa de correntes do sistema de cogeração de energia

Fluxo	Descrição	Temperatura (°C)	Pressão (kPa)	Fluxo de Massa (kg/s ou m³/h)
GN1	Gás natural para motor de combustão interna	25	101	0,015
AR1	Fluxo de ar utilizado na combustão do motor	25	101	0,228
FR1	Fluxo de água para resfriamento do motor	80	150	4,98
FR2	Reposição da água na torre	25	101	0,25
FR3	Fluxo de água da torre de resfriamento	70	101	4,98
FR4	Fluxo de água da bomba 1 para o motor	70	601	4,98
FR5	Fluxo de água para resfriamento do chiller	36,5	150	10,17
FR6	Reposição da água na torre	25	101	0,51
FR7	Fluxo de água da torre de resfriamento	31	101	10,17
FR8	Fluxo de água da bomba 2 para o chiller	31	601	10,17
GE1	Fluxo do gás exausto até o trocador de calor	751	101	0,243
GE2	Fluxo do gás exausto para a chaminé	250	101	0,243
FC1	Fluxo de água para refrigeração (entrada)	13	601	5,03
FC2	Fluxo de água para refrigeração (saída)	8	556	5,03
CH1	Fluxo de água quente para alimentação	80	101	2,111
CH2	Fluxo de água quente para alimentação	95	101	2,111

Fonte: Autor

De acordo com a legislação vigente no Brasil (Resoluções da ANEEL 235 de 2006; 482 de 2012 e 687 de 2015), os sistemas de cogeração de energia contribuem com a racionalidade energética do país, proporcionando melhor aproveitamento e menor consumo das fontes de energia, se comparado com a geração individual da energia elétrica e calor. O próximo passo para validação do modelo em estudo foi associar o sistema de cogeração de energia proposto à legislação vigente no Brasil, assim certificando-o como gerador qualificado e apto para aproveitar os benefícios e

incentivos da legislação. A resolução 235 de 2006 da ANEEL discorre sobre os critérios da geração qualificada, que tem seus requisitos apresentados pelas Eq. (1) e Eq. (2):

$$\frac{Et}{Ef} \geq 15\% \quad (1)$$

$$\frac{\left(\frac{Et}{Ef}\right)}{X} + \left(\frac{Ee}{Ef}\right) \geq Fc (\%) \quad (2)$$

Sendo:

Ef = Energia da fonte, ou seja, a energia fornecida pela central cogeneradora que está associada ao PCI (poder calorífico inferior) no caso da operação com combustíveis.

Ee = Energia da utilidade eletromecânica, que representa a energia produzida pela central cogeneradora em termos líquidos.

Et = Energia da utilidade calor, que representa a energia térmica útil cedida pela central cogeneradora.

Fc = Fator de cogeração, que é um parâmetro definido em função da potência instalada e da fonte da central cogeneradora.

X = Fator de ponderação, que é um parâmetro adimensional, relacionado com a eficiência do equipamento gerador de calor com o gerador da energia.

Os resultados dessas equações de qualificação devem estar enquadrados com os requisitos que constam também na Resolução 235/2006 da ANEEL, conforme Tab. 7:

Tabela 7. Critérios de qualificação apresentada pela legislação da ANEEL

Fonte / Potência elétrica instalada	X	Fc (%)
Derivados de Petróleo, Gás Natural e Carvão:		
Até 5 MW	2,14	41
Acima de 5 MW e até 20 MW	2,13	44
Acima de 20 MW	2,00	50

Fonte: Resolução 235 de 2006 (ANEEL)

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O catálogo do fabricante do motor a combustão informa que a necessidade de resfriamento do equipamento é de aproximadamente 670.280 BTU/h, ou seja, 196 kW. Foi considerada uma perda de 5% da vazão do fluxo de resfriamento para cálculo da água de reposição. Considerando uma geração de energia elétrica de 200 kW a plena carga, uma vazão mássica de gás natural de 0,015 kg/s e PCI = 47000 kJ/kg, foi encontrada uma eficiência para o motor a combustão de 28%. Os resultados encontrados, conforme Tab. 8, demonstram a qualificação do projeto apresentado, com total adequação à legislação. A relação da energia da fonte (Ef) com a energia da utilidade eletromecânica (Ee) ficou igual a 25%, ou seja, superior ao mínimo de 15% exigido pela norma. O resultado do fator de cogeração (Fc) ficou em 49%, também superior aos 41% mínimos exigidos. Isso mostra que o sistema de cogeração proposto pode usufruir dos benefícios e incentivos governamentais da cogeração qualificada.

Tabela 8. Qualificação do sistema de cogeração

Et / Ef (1) e % Fc (2)		
Ef	534,52	kW
Ee	200	kW
Et	133	kW
X	2,14	
Et/Ef	25	%
Fc	49	%

Fonte: Autor

Aplicado o sistema de cogeração proposto, a geração de energia em horário de ponta foi fornecida pelo motor a combustão, não mais pelo gerador a diesel instalado no empreendimento. No entanto, o chiller por absorção, por operar somente durante as 14 horas, não forneceu capacidade de refrigeração durante as 10 horas em que o supermercado permanece fechado. Desse modo, houve a necessidade de compra da energia elétrica para operar os racks de média temperatura durante a noite. Na simulação, o comportamento diário da conta de energia elétrica caiu substancialmente

de R\$ 2.424,35 para R\$ 243,28, representando uma redução substancial no custo diário com energia no supermercado. A Tab. 9 apresenta uma projeção da nova conta de energia com o sistema de cogeração qualificado em operação.

Tabela 9. Simulação da conta de energia com o sistema de cogeração

Energia (kWh)	Consumo Ponta (kWh)	Geração Ponta (kWh)	Consumo Fora de Ponta (kWh)	Geração Fora de Ponta (kWh)	Necessidade de aquisição Fora de Ponta (kWh)	Custo de disponibilidade (R\$)	Valor total da Fatura (R\$)
152.850	32.850	32.850	120.000	111.471	8.529	3.488,66	7.298,56

Fonte: Autor

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho descreve um estudo técnico de um sistema de cogeração de energia baseado em motor de combustão interna a gás natural e chiller por absorção com foco de aplicação em supermercados. O estudo foi realizado atendendo às legislações de incentivo no Brasil e segue o mesmo direcionamento de países desenvolvidos, que utilizam há décadas a cogeração como alternativa de produção energética. Os resultados apresentados mostram um modelo de sistema de cogeração junto com o seu respectivo funcionamento. O projeto atendeu aos requisitos legais de qualificação o que permitiu o modelo se beneficiar dos benefícios e incentivos governamentais relacionados à cogeração qualificada, que resultou em uma redução substancial no gasto diário da energia elétrica do empreendimento, de R\$ 2.424,35 para R\$ 243,28. Desse modo, os resultados encontrados estão alinhados com os apresentados por conhecidos pesquisadores na área tecnológica de cogeração de energia, mesmo sendo adaptado à legislação local de geração distribuída com foco em supermercados. Um estudo de investimento mais detalhado, envolvendo investimentos em equipamentos, taxa de atratividade e demais características para uma análise completa, será desenvolvido e demonstrado em futuras publicações.

7. REFERÊNCIAS

- Ackermann, T., Andersson, G. Söder, L., 2001, "Distributed generation: a definition. Electric Power Systems Research", vol. 57, n. 3, pp. 195-204.
- Arteconi, A., Brandoni, C., Polonara, F., 2009, "Distributed generation and trigeneration: Energy saving opportunities in Italian supermarket sector", Applied Thermal Engineering, vol. 29, n. 8-9, pp. 1735-1743.
- Baxter, V.D., 2005, "Summary of advanced supermarket R&D activities conducted under International Energy Agency (IEA)", Annex 26, 8th IEA Heat Pump Conference, Las Vegas, NV, USA.
- Brasil. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Resolução Normativa no 482 de 17 de Abril de 2012. Disponível em: <www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 23.03.2017.
- Brasil. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Resolução Normativa no 687 de 24 de Novembro de 2015. Disponível em: <www.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 23.03.2017.
- Brasil. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Resolução Normativa no 714 de 10 de Maio de 2016. Disponível em: <www.aneel.gov.br/cedoc/ren2016714.pdf>. Acesso em: 23.03.2017.
- Brasil. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Resolução Normativa no 414 de 09 de Setembro de 2010. Disponível em: <www.aneel.gov.br/cedoc/bren2010414.pdf>. Acesso em: 23.03.2017.
- Brasil, Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Resolução Normativa no 235 de 14 de Novembro de 2006. Disponível em: <www.aneel.gov.br/cedoc/ren2006235.pdf>. Acesso em: 23.03.2017.
- Colonna, P., Gabrielli, S., 2003, "Industrial trigeneration using ammonia–water absorption refrigeration systems (AAR)", Applied Thermal Engineering, vol.23, n. 4, pp. 381-396.
- lópez-Orrego, D., Silva, J.A.M., Oliveira Jr., S., 2014, "Renewable and non-renewable exergy cost and specific CO2 emission of electricity generation: The Brazilian case", Energy Conversion and Management, vol. 85, pp. 619-629.
- Isa, N. I., Tan, C. W., Yatim, A. H. M., 2017, "A comprehensive review of cogeneration system in a microgrid: A perspective from architecture and operating system", Renewable and Sustainable Energy Reviews, in press.
- Maidment, G.G., et al., 1999, "Application of combined heat-and-power and absorption cooling in a supermarket", Applied Energy, vol. 63, n. 3, pp. 169-190.
- Maidment, G.G., Tozer, R. M., 2002, "Combined cooling heat and power in supermarkets", Applied Thermal Engineering, vol. 22, n. 6, pp. 653-665.
- Maidment, G.G., Prosser, G., 2000, "The use of CHP and absorption cooling in cold storage", Applied Thermal Engineering, vol. 20, n. 12, pp. 1059-1073.
- Maidment, G.G., Zhao, X., Riffat, S. B., 2001, "Combined cooling and heating using a gas engine in a supermarket", Applied Energy, vol. 68, n. 4, pp. 321-335.
- Marimón, M.A., et al., 2011, "Integration of trigeneration in an indirect cascade refrigeration system in supermarkets", Energy and Buildings, vol. 43, n. 6, pp. 1427-1434.

- Moussawi, H. A., Fardoun, F., Louahlia, H., 2017, "Selection based on differences between cogeneration and trigeneration in various prime mover technologies", Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 74, pp. 491-511.
- Ochoa , A.A.V., et al., 2014, "Energetic and Exergetic study of a 10RT absorption chiller integrated into a micro generation system", Energy Conversion and Management, vol. 88, pp. 545-553.
- Office of Natural Resources, Canada, 2003, "Commercial and Institutional Retrofits", Guide of Saving Energy Dollars in Stores, Supermarkets and Malls.
- Sugiatha, N., et al., 2009, "Trigeneration in food retail an energetic, economic and environmental evaluation for a supermarket application", Applied Thermal Engineering, vol. 29, n. 13, pp. 2624-2632.

8. RESPONSABILIDADE AUTORAL

"Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho".

TECHNICAL FEASIBILITY ANALYSIS OF AN ENERGY COGENERATION SYSTEM FOR SUPERMARKETS

Marcos Scaramussa Jr, marcos.scaramussa.jr@gmail.com¹

Julio Augusto M. da Silva, julio.silva@ufba.br¹

Ednildo Andrade Torres, ednildo@ufba.br¹

Felipe Cunha, fbarroco@bmeg.com.br¹

¹ Federal University of Bahia (UFBA), Professor Aristίδes Novis Street, Number 02, Federação, Salvador - BA, Zip Code: 40.210-630.

Abstract: *The technical feasibility of an energy cogeneration system based on natural gas internal combustion engine and absorption chiller were investigated. Projects that meet the growing demand for diversification of energy supply in our country are already well studied, but the alignment between the modern regulation laws with the technologies available in the market for application in supermarkets are not well understood. The study methodology was divided into: Mapping of constraints and project requirements with regard to the legislation of qualified cogeneration and energy compensation; Map of an electrical and thermal loads in a case of study; Cogeneration plant modeling to meet the case study; Evaluation through technical indicators. The results demonstrate the technical feasibility of the system together with a daily projection of energy billing after the implementation of the cogeneration system. Such information is important it presents a practical study of the application of the cogeneration system to one of the main consumers of energy in the commercial trade, as well as stimulating the studies and the maturation of the incentives in cogeneration in Brazil.*

Keywords: *Cogeneration, Natural gas internal combustion engine, Absorption chiller, Supermarket, Distributed generation.*