

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PECE - ESPECIALIZAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS, GERAÇÃO
DISTRIBUÍDA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
ESCOLA POLITÉCNICA DA USP**

RICARDO CORREIA DA SILVA

**ANÁLISE DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO SETOR TERCIÁRIO COM
APLICAÇÃO DE COGERAÇÃO EM *SHOPPING CENTER***

São Paulo, 2016

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PECE - ESPECIALIZAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS, GERAÇÃO
DISTRIBUÍDA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
ESCOLA POLITÉCNICA DA USP**

RICARDO CORREIA DA SILVA

**ANÁLISE DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO SETOR TERCIÁRIO COM
APLICAÇÃO DE COGERAÇÃO EM *SHOPPING CENTER***

Monografia apresentada ao PECE - Programa de Educação continuada da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis, Geração distribuída e Eficiência Energética.

São Paulo, 2016

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PECE - ESPECIALIZAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS, GERAÇÃO
DISTRIBUÍDA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
ESCOLA POLITÉCNICA DA USP**

RICARDO CORREIA DA SILVA

**ANÁLISE DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO SETOR TERCIÁRIO COM
APLICAÇÃO DE COGERAÇÃO EM *SHOPPING CENTER***

Monografia apresentada ao PECE - Programa de Educação continuada da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis, Geração distribuída e Eficiência Energética.

Área de Concentração: Engenharia Elétrica, Geração de Energia, Cogeração e Geração Distribuída.

Orientador: Prof. Masc. Ronaldo Andreos

São Paulo, 2016

Correia, Ricardo

Análise dos perfis de aplicação de cogeração no setor terciário / R. Correia. – São Paulo, 2016.

Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1.Cogeração – Análise dos perfis de aplicação. 2.Gás natural.

Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
PECE - Programa de Educação Continuada em Engenharia

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado força e paciência e perseverança para alcançar meus objetivos mesmos nas dificuldades;

Agradeço aos meus pais, por terem me permitido buscar meu sonho de ser um profissional com conhecimento técnico e principalmente ético.

Agradeço a minha família, por serem pacientes e pelo incentivo pela busca de aprimoramento em meus conhecimentos.

Agradeço a Marcia minha esposa, pelo apoio e força nos momentos difíceis e pelas formas que conduziu nossa casa neste período.

Agradeço aos amigos que fiz durante o curso, pelas horas de descontração e pela ajuda durante as aulas e trabalhos.

Agradeço aos doutores, mestres e professores do curso e à USP por tornar possível a realização do curso.

Agradeço ao Prof. Ronaldo Andreos pela orientação na monografia.

RESUMO

O intuito desta monografia foi analisar a viabilidade técnico-econômica de uma cogeração a gás natural em *Shopping Center* da Zona Sul da cidade de São Paulo-SP. O estudo consistiu em geração de energia através de motores a combustão interna (MCI), utilização de resfriadores (*Chillers*), de absorção (ABS) e resfriadores elétricos, para atendimento tanto da carga elétrica quanto da carga térmica do empreendimento em questão. As demandas/consumo de energia elétrica e ar condicionado são dados reais de operação e foram levantados junto ao condomínio.

A monografia apresentará, em seu estado da arte, o conceito de cogeração, as tecnologias empregadas, as configurações e balanços energéticos, os combustíveis aplicados, os principais fabricantes, cogeração qualificada, demanda elétrica, contrato de fornecimento de energia elétrica e o fator de utilização.

Será apresentado o segmento *Shopping Center*, principal foco da dissertação, onde serão explicados os conceitos, as variáveis, a capacidade instalada (unidades) sobre Brasil e seu potencial de crescimento.

No setor terciário precisamente no seguimento *Shopping Center*, será indicado uma alternativa para implementação de geração de energia com foco em fontes renováveis, especificamente com a implementação de placas fotovoltaicas.

Por fim apresentaremos o estudo de caso sobre cogeração em *Shopping Center*, que se trata do foco e motivação para pesquisa e apresentação desta dissertação.

ABSTRACT

The purpose of this work is to analyze the technical and economic feasibility of a natural gas cogeneration in Shopping Center in the South Zone of São Paulo-SP. The study will consist of power generation by internal combustion engines (ICE), use coolers (Chillers), absorption (ABS) and electric Chillers. To meet both of the electric charge as the thermal load of the enterprise in question. The demand / consumption of electricity and air conditioning, are real data operation and were raised by the community.

The monograph will present in its state of the art, the concept of cogeneration, the technologies used, the settings and energy balances, the applied fuel, leading manufacturers, qualified cogeneration, electricity demand, electricity supply contract and the utilization factor .

The Shopping Center segment is the main focus of the dissertation, where the concepts will be explained, will be presented the variables, its installed capacity (units) on Brazil and its growth potential.

In the tertiary sector precisely following Shopping Center, an alternative to implementation of power generation will be indicated with a focus on renewable sources, specifically with the implementation of photovoltaic panels.

Finally, we will present the case study of Shopping Center cogeneration, it is the focus and motivation for research and presentation of this work.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01- Processo de Cogeração de Energia Utilizando MCI e gás natural. Andreos(2013).....	18
Figura 02- Motor de combustão interna (MCI) (Andreos, 2013).....	20
Figura 03- Esquema de funcionamento do ciclo Diesel. (Andreos, 2013).....	21
Figura 04- Esquema de funcionamento do ciclo Otto. BRITANNICAESCOLA(2016).....	21
Figura 05- Esquema de funcionamento da turbina a vapor. (ARONA, 2009).....	24
Figura 06- Esquema de funcionamento da turbina a gás. (ARONA, 2009).....	25
Figura 07- Esquema de funcionamento de ciclo combinado com turbina a gás e turbina a vapor. (ARONA, 2009).....	26
Figura 08- Esquema interno de uma micro turbina a gás. (RIBEIRO, 2011)	27
Figura 09 - Esquema de funcionamento do ciclo frigorífico por absorção. (PECE- ERG-003-COGERAÇÃO, 2015).....	29
Figura 10- Esquema de funcionamento do ciclo frigorífico por absorção. (PECE- ERG-003-COGERAÇÃO, 2015).....	30
Figura 11- Esquema de funcionamento do ciclo frigorífico por absorção. (PECE- ERG-003-COGERAÇÃO, 2015).....	31
Figura 12- Esquema de funcionamento do ciclo frigorífico por absorção. (PECE- ERG-003-COGERAÇÃO, 2015).....	31
Figura 13- Esquema de funcionamento do ciclo frigorífico por absorção. (PECE- ERG-003-COGERAÇÃO, 2015).....	32
Figura 14- ABS Queima direta (a), Vapor (b) e Água quente (c). (ANDREOS, 2013).....	33
Figura 15- ABS <i>three fuel</i> ; Vapor, Água quente e Gás natural. (ANDREOS, 2013).	33
Figura 16- Cogeração no <i>Topping cycle</i> , motor a combustão interna. (ANDREOS, 2013).....	37
Figura 17- Cogeração no <i>Topping cycle</i> , motor a combustão interna. (ANDREOS, 2013).....	37

Figura 18- Cogeração em tri-geração Energia, água quente e gelada. (RIBEIRO, 2010).....	38
Figura 19- Classificação de tipos de <i>Shopping Center</i> . (DOS SANTOS, 2013).....	54
Figura 20- Concepção do <i>Mix</i> de lojas, aspectos relevantes no estudo e aplicação. (DOS SANTOS, 2013).....	55
Figura 21- Classificação do <i>Mix</i> de lojas. (DOS SANTOS, 2013)	56
Figura 22- Calculo do custo de energia elétrica em 2013 AES Eletropaulo A4 Azul. (ANDREOS, 2013)	62
Figura 23- Calculo do custo do gás natural COMGAS. (ANDREOS, 2013).....	62
Figura 24- Demonstrativo real obtido em loco do pagamento da conta de energia do mês de Março/2016.....	64
Figura 25- <i>Chiller</i> Centrifugo de 1.105TR.....	66
Figura 26- Bombas de circulação de água gelada para os <i>fan coils</i> , para o tanque de termo acumulação e torres de condensação.	67
Figura 27- Foto do tanque de termo acumulação de 3.500.000,00lts de água gelada.....	68
Figura 28- Foto dos painéis alimentadores elétricos e sistemas e automação das bombas, <i>Chillers</i> , torres de resfriamentos e <i>fan coils</i>	69
Figura 29- Foto das torres de resfriamento.....	70
Figura 30- Imagem do grupo gerador modelo CATERPILLAR CG 260-12. cat.com (2016).....	71
Figura 31- Imagem do <i>Chiller</i> de Absorção modelo: TUMA / BROAD BH 800. empresatuma.com.br (2016).....	72
Figura 32- Configuração esquemática da cogeração de energia elétrica e água gelada com <i>Chiller</i> de absorção para o <i>Shopping Center</i>	72
Figura 33 - Configuração cogeração estudo de caso <i>Shopping Center</i> . Andreos (2013).....	73
Figura 34- Foto da cobertura de veículos e placas fotovoltaicas no estacionamento de <i>Shopping Center</i> . Plaza <i>Shopping Recife</i> (2016).....	86
Figura 35- Foto da cobertura de um empreendimento e placas fotovoltaicas. Energyteambrazil (2012).....	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 01- Dados médios MCI Diesel e GN (Andreos, 2013).	22
Tabela 02- Principais fabricantes de MCI a GN (Andreos, 2013).	22
Tabela 03- Principais fabricantes de ABS presentes no Brasil. (ANDREOS, 2013).	34
Tabela 04- Resumo das características das tecnologias de cogeração. (ANDREOS, 2013).	35
Tabela 05- Rendimento elétrico e FUE por gerador. (ANDREOS, 2013).	36
Tabela 06- Fatores FC% e X - requisitos de qualificação. (ANDREOS, 2013).	44
Tabela 07- Segmentos do setor terciário com perfil para cogeração. (ANDREOS, 2013).	50
Tabela 08- Potencial cogeração setor terciário, estado São Paulo (ANDREOS, 2013).	51
Tabela 09- Número de <i>Shopping Center</i> no Brasil e estimativa de crescimento em 2016 (ABRASCE. 2016).	58
Tabela 10- Cálculo do balanço energético do estudo de caso <i>Shopping Center</i> .	74
Tabela 11- Cálculo do fator de utilização da energia do estudo de caso <i>Shopping Center</i> .	74
Tabela 12- Cálculo da qualificação da cogeração do estudo de caso <i>Shopping Center</i> .	75
Tabela 13- Cálculo do custo da energia convencional do estudo de caso <i>Shopping Center</i> .	75
Tabela 14- Cálculo do custo da energia em cogeração do estudo de caso <i>Shopping Center</i> .	76
Tabela 15- Cálculo do custo do gás no estudo de caso <i>Shopping Center</i> .	77
Tabela 16- Cálculo dos custos da energia convencional versus a cogeração no estudo de caso <i>Shopping Center</i> .	78
Tabela 17- Cálculo dos custos da energia para o sistema de ar condicionado no sistema convencional versus a cogeração no estudo de caso <i>Shopping Center</i> .	79
Tabela 18- Cálculo do custo operacional no estudo de caso <i>Shopping Center</i> .	79

Tabela 19- Cálculo do investimento no estudo de caso Shopping Center	80
Tabela 20- Cálculo do VPL e TIR no estudo de caso <i>Shopping Center</i>	81
Tabela 21- Cálculo dos parâmetros financeiros no estudo de caso <i>Shopping Center</i>	82

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01- Gráfico do consumo elétrico do <i>Shopping Center</i> ao longo do ano de 2015, incluindo os efeitos da sazonalidade.....	65
Gráfico 02- Gráfico do consumo térmico em TR do <i>Shopping Center</i> ao longo do ano de 2015, incluindo os efeitos da sazonalidade.....	69
Gráfico 03- Gráfico dos custos operacionais do sistema convencional versus a cogeração.....	80
Gráfico 04- Gráfico do fluxo de caixa descontado no estudo de caso.....	83
Gráfico 05- Gráfico do fluxo de caixa acumulado no estudo de caso.....	83

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Objetivos, Motivações e Justificativas	15
2. ESTADO DA ARTE	17
2.1. Cogeração	17
2.2. Equipamentos e tecnologias empregados	18
Tipos de dimensionamento	18
Tecnologias disponíveis	19
2.2.1. Motor a combustão interna (MCI)	19
2.2.2. Turbina a vapor (TV)	23
2.2.3. Turbina a gás (TG)	24
2.2.4. Microturbina (μTG)	26
2.2.5. Outras tecnologias	28
Motores <i>Stirling</i> (MS)	28
Ciclo Orgânico de <i>Rankine</i> (COR)	28
Célula Combustível (CC)	28
2.3. Resfriadores de Líquido por Absorção (ABS) “<i>Chillers</i>”	29
2.4. Resumo das principais tecnologias	34
2.5. Configurações básicas da cogeração	36
2.5.1. Energia elétrica e Água gelada	36
2.5.2. Energia elétrica e Água quente	37
2.5.3. Energia elétrica, Água gelada e Água quente	38
2.6. Fator de Utilização de Energia	38
2.7. Cogeração qualificada	40
2.7.1. Legislação brasileira para cogeração qualificada	40
Principais Mecanismos Regulatórios – ANEEL	41
Qualificação de centrais de cogeração	41
Requisitos para qualificação	42
2.8. Combustíveis aplicados	44
2.9. Demanda elétrica	44
Contrato de fornecimento de energia elétrica.	45

3. MAPEAMENTO ENERGÉTICO DO SETOR TERCIÁRIO	45
3.1. Segmentação do setor terciário.....	45
3.2. Potencial de aplicação no mercado de São Paulo.....	50
4. SEGMENTO DE <i>SHOPPING CENTER</i>	51
4.1. Tipos e variáveis.....	52
4.1.1. Fase da introdução.....	52
4.1.2. Fase da maturação.....	52
4.1.3. Fase da padronização.....	53
4.1.4. Fase de declínio.....	53
4.2. Segmentação de Lojas.....	54
4.3. Perfis de consumo.....	57
4.4. Capacidade Instalada (Brasil, São Paulo etc.).....	57
4.5. Potencial de crescimento.....	59
5. ESTUDO DE CASO APLICAÇÃO DA COGERAÇÃO EM UM <i>SHOPPING CENTER</i>	61
5.1. Estudo referencial em 2013.....	61
5.2. Estudo de caso 2016.....	63
6. CONCLUSÃO	87
7. CONCLUSÃO 2	89
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA	91

1. INTRODUÇÃO

1.1. Objetivos, Motivações e Justificativas.

Objetivos

Apresentar um estudo de caso para analisar a viabilidade técnico-econômica da implantação de uma cogeração em empreendimentos do setor terciário, operando através da cogeração a gás natural, em um *Shopping Center* localizados na zona Sul da cidade de São Paulo.

Também fazem parte dos objetivos deste trabalho:

Apresentar de forma simplificada os conceitos de cogeração;

Apresentar os conceitos e metodologias aplicadas para implantação de *Shopping Center*, além de seu potencial de crescimento no mercado Brasileiro;

Motivações

Em sua dissertação, Soler (2013), “destaca a maior participação de termelétricas de baixa eficiência e movidas a combustíveis fósseis, irão aumentar as emissões de gases de efeito estufa da matriz elétrica brasileira, e custo de geração de energia. As grandes distâncias entre as novas usinas hidrelétricas e os centros de carga, podem aumentar o índice de falha do SIN (Sistema Interligado Nacional) e perdas técnicas por efeito Joule”.

Andreas (2013) “em sua dissertação destaca que a expectativa do aumento da produção de gás natural no Brasil potencializa a oportunidade de aplicação de pequenas centrais de cogeração no centro de carga de São Paulo. As instabilidades no suprimento de energia elétrica nestas regiões são a cada dia mais frequentes, a exploração desta alternativa pode adicionar maior segurança operacional ao usuário, bem como proporcionar uma possível redução nos custos operacionais”.

O setor terciário, principalmente *Shopping Center* em sua grande maioria, estão localizados em grandes centros e/ou conglomerados de bairros com grande concentração populacional e próximo ao centro de carga como citado pelos pesquisadores acima mencionados.

Justificativas

Atualmente, o Brasil vem enfrentando uma de suas maiores crises econômicas e políticas. Este cenário fez com que o consumo elétrico brasileiro, principalmente industrial, reduzisse drasticamente. No entanto, em algum momento, a economia voltará a crescer e conforme citado por Andreos (2013) “a matriz energética brasileira por muito tempo foi em sua totalidade de fonte hidrelétrica, porém devido a diversas barreiras, principalmente ambiental, a oferta de geração hidrelétrica não tem acompanhado a demanda do país obrigando o governo a planejar o incremento da geração de energia elétrica através de fontes alternativas”.

O cenário acima descrito, nos remete a buscar soluções em curto prazo para implementação de fontes alternativas de geração de energia, com metodologia de fácil aplicação, de simples controle, com o uso de combustíveis de fácil manuseio e operação, que utilizem centrais de geração de energia com dimensões menores e principalmente que estejam próximos ao centro de carga.

Com base nos itens acima descritos, o setor terciário e em particular *Shopping Center*, encaixa-se de forma mais adequada a esta configuração. Uma vez que este tipo de empreendimento necessita tanto de energia para seus equipamentos quanto de água gelada para o conforto térmico dos ambientes e operação de seu estabelecimento.

2. ESTADO DA ARTE

2.1. Cogeração

Conceito

De acordo com Andreos (2013), “a cogeração consiste na produção simultânea e sequenciada de duas ou mais formas de energia a partir do uso de uma única fonte energética primária como: óleo, carvão, gás natural ou liquefeito, biomassa ou solar, sendo o gás natural o combustível mais utilizado nos processos de cogeração de energia”.

A cogeração possui como objetivo principal o aproveitamento máximo da energia da fonte primária de abastecimento utilizando este recurso de forma eficiente e racional. Sua aplicação é viável em qualquer setor e/ou empreendimento que necessite de energia elétrica e térmica simultaneamente ou com possibilidades de armazenamento.

Segundo LIZARRAGA (1999) “o conceito Cogeração vem da definição da produção conjunta, em processo sequencial, de eletricidade ou energia mecânica, e energia térmica útil”.

“Na cogeração usa-se um equipamento principal que transforma energia térmica ou química em energia elétrica, térmica ou mecânica, este equipamento pode ser uma caldeira, um motor a combustão interna (MCI) ou uma turbina a gás (TG). Ele tem por objetivo a produção de energia primária, e ao cogerar, parte da energia que seria considerada como rejeito térmico é recuperada para produção de outra forma de energia aumentando o fator de utilização de energia do ciclo.” conforme Andreos (2013), vide figura 01.

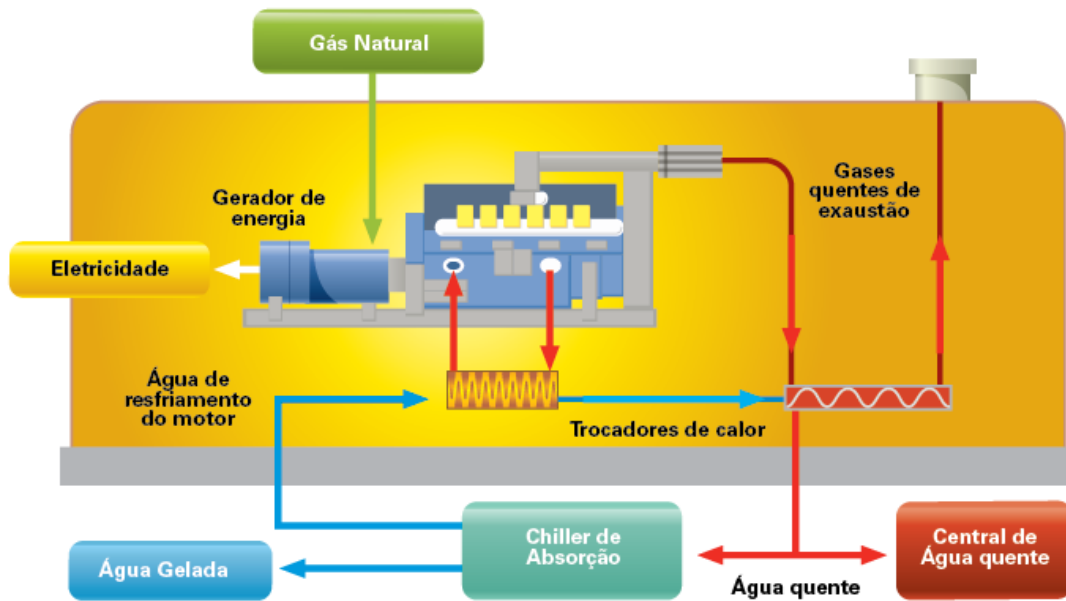


Figura 01: Processo de Cogeração de Energia Utilizando MCI e gás natural. (Andreas, 2013).

2.2. Equipamentos e tecnologias empregados

Tipos de dimensionamento

Em uma planta de cogeração o dimensionamento deverá atender tanto a demanda elétrica quanto a demanda térmica através do balanço energético adequado e com o maior rendimento possível. Desta maneira, podemos utilizar dois tipos de dimensionamento básico de cogeração:

A Cogeração chamada *Topping cycle*, onde a geração de base ou geração principal é a energia elétrica, então o combustível primário gera primeiramente a energia elétrica e o calor recuperado resultante é utilizado para produção de energia térmica KEHLHOFER (1999), conforme Andreas (2013).

- Ciclo *Topping*: configurações dimensionadas para o atendimento da demanda de energia elétrica do sistema no qual foi dimensionado. Esta configuração, o combustível primário gera inicialmente energia elétrica, e

parte do calor rejeitado é recuperada para produção simultânea de energia térmica. Kehlhofer (1999).

- Ciclo *Bottoming*: configurações dimensionadas para o atendimento da demanda térmica, o combustível primário gera inicialmente energia térmica, e parte do rejeito térmico recuperado é utilizado para produção simultânea de energia elétrica. Kehlhofer (1999).

Tecnologias disponíveis

De acordo com Andreos (2013), mediante as pesquisas e com base na literatura e dados técnicos dos equipamentos disponibilizados pelos principais fabricantes com representação no mercado brasileiro, foram listadas as tecnologias disponíveis voltadas na aplicação de cogeração de pequeno e médio porte para produção simultânea de energia elétrica, água gelada e água quente para o setor terciário. Os equipamentos disponíveis são:

- Motor a combustão interna (MCI)
- Turbina a vapor (TV)
- Turbina a gás (TG)
- Microturbina a gás (μ TG)
- Outras tecnologias
- Motores *Stirling* (MS)
- Ciclo Orgânico de *Rankine* (COR)
- Célula Combustível (CC)
- Resfriador de líquido por absorção (ABS)

2.2.1. Motor a combustão interna (MCI)

Os motores de combustão interna (MCI) queimam o combustível primário em sua câmara de combustão impulsionando e movimentando os cilindros, podendo ser este alimentado por diversos tipos de combustível.

Segundo Andreos (2013) “Os grupos motogeradores são compostos por um motor a combustão interna estacionária acoplada a um gerador de energia elétrica. Os motores a combustão interna são do tipo endotérmico com movimentos alternativos através de pistões que giram o eixo principal transmitindo a potência necessária para girar o alternador que produz a energia elétrica.” Conforme figura 02 .

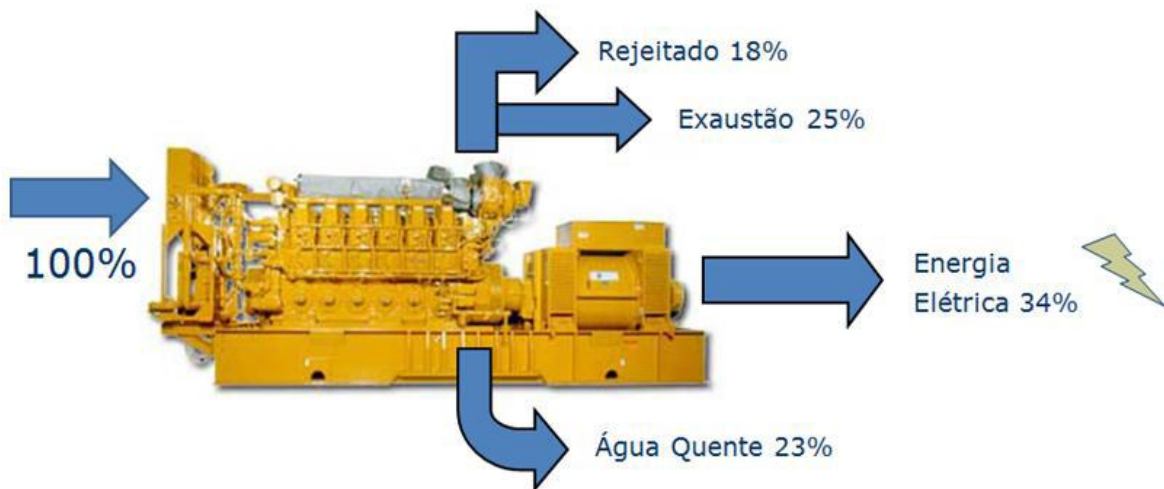


Figura 02: Motor de combustão interna (MCI) Andreos (2013).

Os (MCI), possuem dois tipos específicos de ciclo de trabalho sendo os motores de ciclo Diesel e os motores de ciclo *Otto*.

Os motores de combustão interna (MCI) que trabalham no ciclo diesel utilizam como combustível mais comum o óleo diesel ou biodiesel, porém poderão utilizar óleos pesados. Sua ignição é realizada através da compressão da mistura combustível, utilizado frequentemente como gerador de emergência. Vide figura 03.

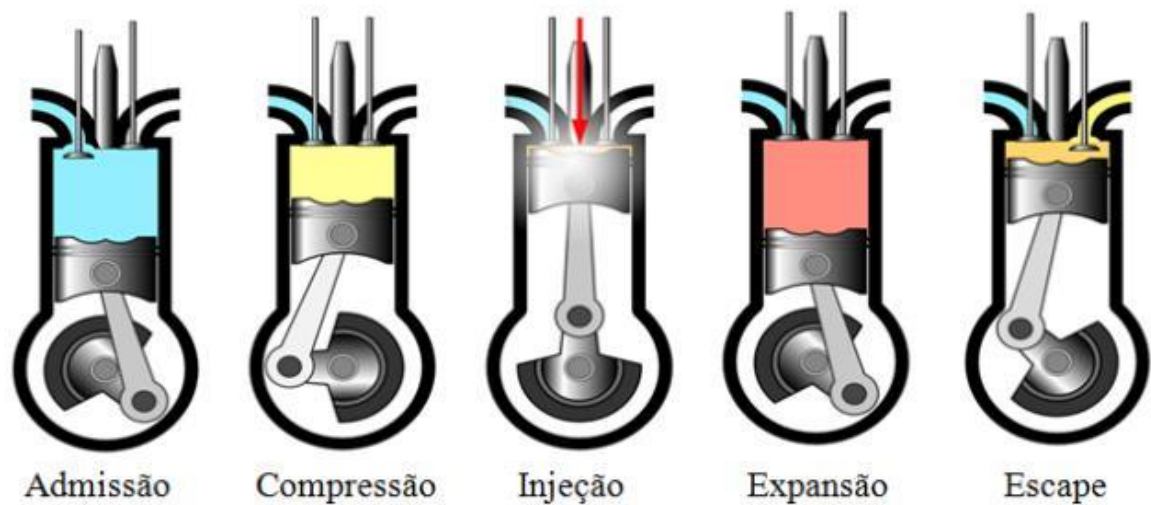


Figura 03: Esquema de funcionamento do ciclo Diesel. Andreos (2013).

Os MCI que trabalham no ciclo *Otto* podem ser alimentados por etanol, gás natural (GN) ou biogás. Sua ignição (explosão do combustível na câmara) é realizada através de centelha, sendo estes equipamentos mais utilizados em sistemas de cogeração, em particular os que utilizam o biogás, por possuírem emissões de poluentes expressivamente menores que o ciclo diesel e a facilidade de entrega do combustível primário ao equipamento. Conforme figura 04.

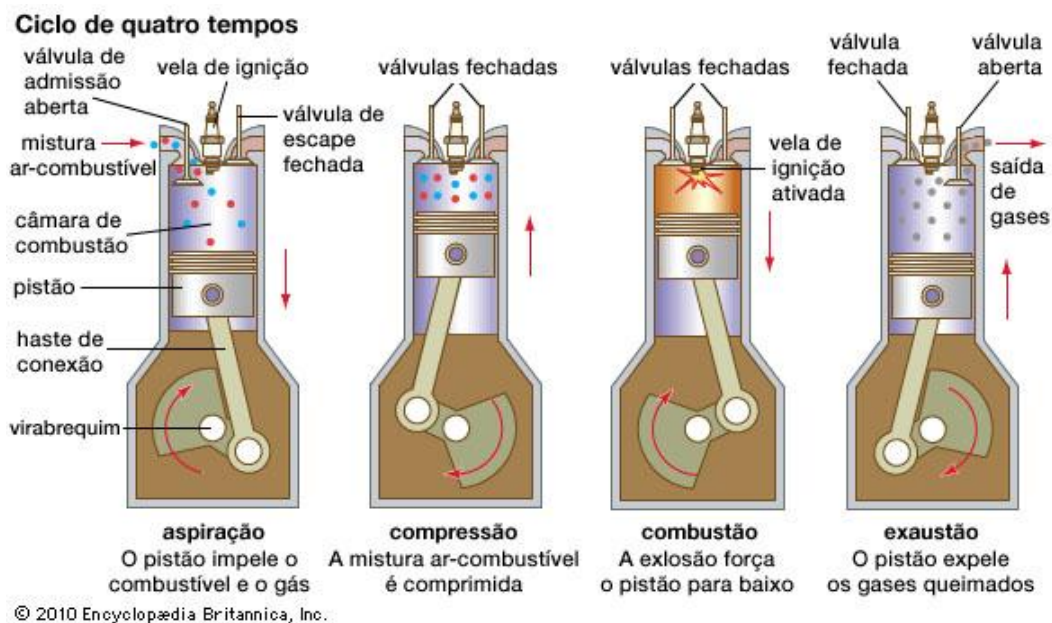


Figura 04: Esquema de funcionamento do ciclo *Otto*. BRITANNICAESCOLA (2016).

O rendimento elétrico dos MCI a gás natural varia entre 25 e 45% e na cogeração o FUE pode chegar a 85%, conforme Andreos, R. (2013).

A tabela 01 apresenta os dados médios e comparativos entre os motores de combustão interna (MCI) dos ciclos Diesel e Otto (Gás natural).

Tabela 01: Dados médios MCI Diesel e GN. Andreos (2013).

MCI	Ciclo Diesel	Ciclo Otto
Tipo de combustível	Líquido Pesado (Diesel)	Líquido Leve / Vapor (GN)
Rendimento elétrico médio (η_e)	35%	34%
Consumo médio Diesel / GN	0,30 L/kWh	0,30 m ³ /kWh
Preço médio de aquisição	R\$ 650 a R\$ 850 / kW	R\$ 750 a R\$ 1.100 / kW
Custo médio com manutenção	R\$ 35 a R\$ 50 / MWh	R\$ 20 a R\$ 35 / MWh

A tabela 02 lista os principais fabricantes de motores a gás natural e seu país de origem.

Tabela 02: Principais fabricantes de MCI a GN. Andreos (2013).

Fabricante	Capacidades	Origem
Caterpillar	65 a 6.520 kWe	EUA
Cummins	20 a 2.000 kWe	EUA
GE	250 a 3.000 kWe	EUA
Generac	22 a 300 kWe	EUA
Guascor	250 a 1.200 kWe	Espanha
Leon Heimer	14,8 a 451 kWe	Brasil
MWM	400 a 4.300 kWe	Alemanha
Wartsila	3.758 a 8.439 kWe	Finlândia
Yanmar	3,5 a 16 kWe	Japão

2.2.2. Turbina a vapor (TV)

As turbinas a vapor (TV) são os equipamentos mais utilizados em plantas industriais e térmicas por serem geradores de energia que trabalham no ciclo *Rankine*, “é um ciclo termodinâmico reversível onde converte calor em trabalho. O calor é fornecido por uma fonte de calor externa para uma caldeira, sendo usualmente o fluido operante a água”. (Wikipédia, acesso 13-03-2016).

De acordo com Andreos (2013) “A TV pode ser de contrapressão; quando a pressão de saída é igual ou superior à pressão atmosférica, ou de condensação; quando a pressão de saída é menor que a pressão atmosférica”.

As turbinas a vapor (TV) de condensação trabalham com circuitos/ciclos fechado e necessitam de uma caldeira para aquecer o fluido, que geralmente é água, gerando vapor para o sistema. Para esta configuração, é possível utilizar qualquer tipo de combustível como fonte de energia primária como, por exemplo: gás natural, óleo diesel, óleo combustível, etanol, carvão ou biomassa. Andreos (2013) “o vapor gerado é encaminhado para a turbina que recebe a energia cinética do vapor em suas pás girando o eixo que produz trabalho. Ao sair da turbina o fluido (vapor) perde calor por condensação alterando sua fase para líquida a fim de ser bombeado novamente para a caldeira reiniciando o ciclo. A TV pode produzir energia mecânica ou energia elétrica através de um gerador acoplado à ponta do eixo da turbina”. Conforme figura 05.

Segundo Andreos (2013). “Na TV de contrapressão o ciclo pode ser aberto e o vapor pode ser descarregado para a atmosfera ou aproveitado em processos industriais, este é o tipo de turbina mais simples e bastante utilizado em plantas de cogeração.”

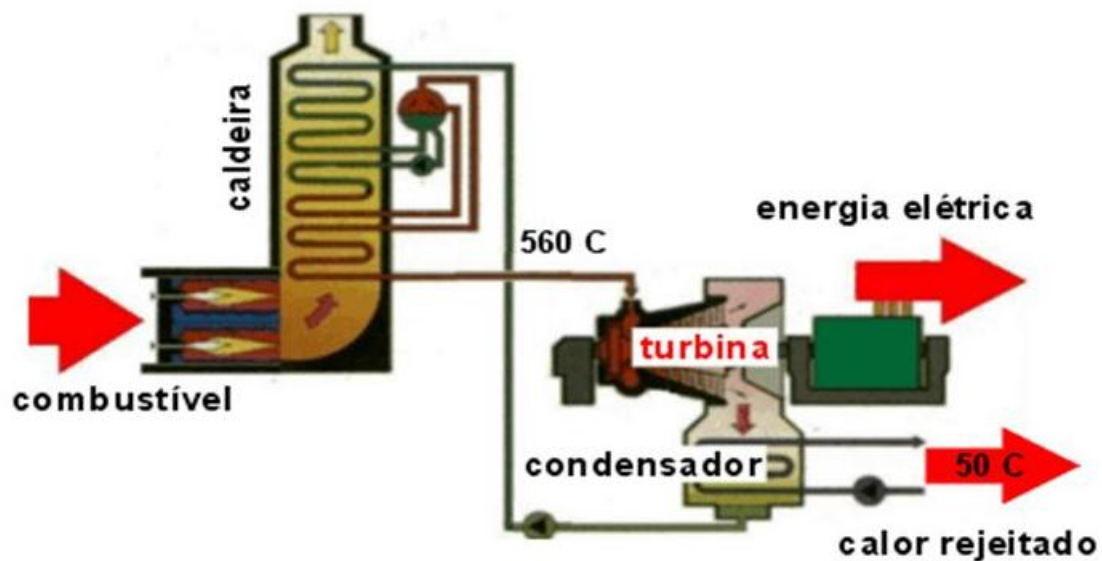


Figura 05: Esquema de funcionamento da turbina a vapor de condensação. ARONA (2009).

No ciclo *Rankine* a eficiência elétrica varia entre 30 a 45% e na cogeração o FUE pode chegar a 50% . ANDREOS (2013).

2.2.3. Turbina a gás (TG)

As turbinas a gás (TG), de acordo com (ANDREOS 2013), “são largamente utilizadas em cogerações industriais de grande escala devido a sua grande potência, alta capacidade de geração térmica recuperada pelos gases de exaustão para produção de vapor superaquecido utilizado nos processos industriais e também por sua confiabilidade operacional. Suas capacidades variam de 500 a 2.500 kWe”.

Essas turbinas a gás (TG) trabalham no Ciclo *Brayton*, o combustível é submetido à queima em uma câmara de combustão que recebe o gás e ar comprimido a altas pressões produzindo assim à expansão dos gases que são levados a turbina, que através de suas pás, gira o eixo produzindo trabalho mecânico. Conforme figura 06.

Conforme (ANDREOS 2013), "os gases de exaustão são expelidos a uma temperatura média entre 400 e 650 °C, pela característica do combustível, os gases gerados são relativamente limpos e podem ser utilizados diretamente em outros processos como desumidificação ou secagem de argila, por exemplo. Devido sua alta temperatura, os gases de exaustão são comumente utilizados para a produção de outro fluido térmico como água quente ou vapor de água num sistema de cogeração".

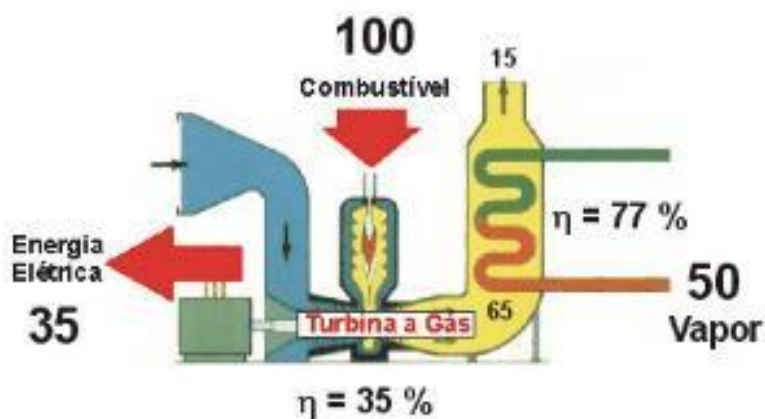


Figura 06: Esquema de funcionamento da turbina a gás. ARONA (2009).

"Em um ciclo *Brayton* a eficiência elétrica de uma turbina poderá variar de 35 a 45%. Para a cogeração o fator de utilização de energia (FUE), pode chegar a 75%" (ANDREOS 2013).

Conforme (ANDREOS 2013), "os gases de exaustão da turbina a gás também podem ser utilizados em um ciclo *Rankine* para geração de vapor, resultando no ciclo combinado. No ciclo combinado (*Brayton + Rankine*) a eficiência elétrica média é de 57% e na cogeração o FUE pode chegar a 75%.". Ciclo combinado conforme figura 07.

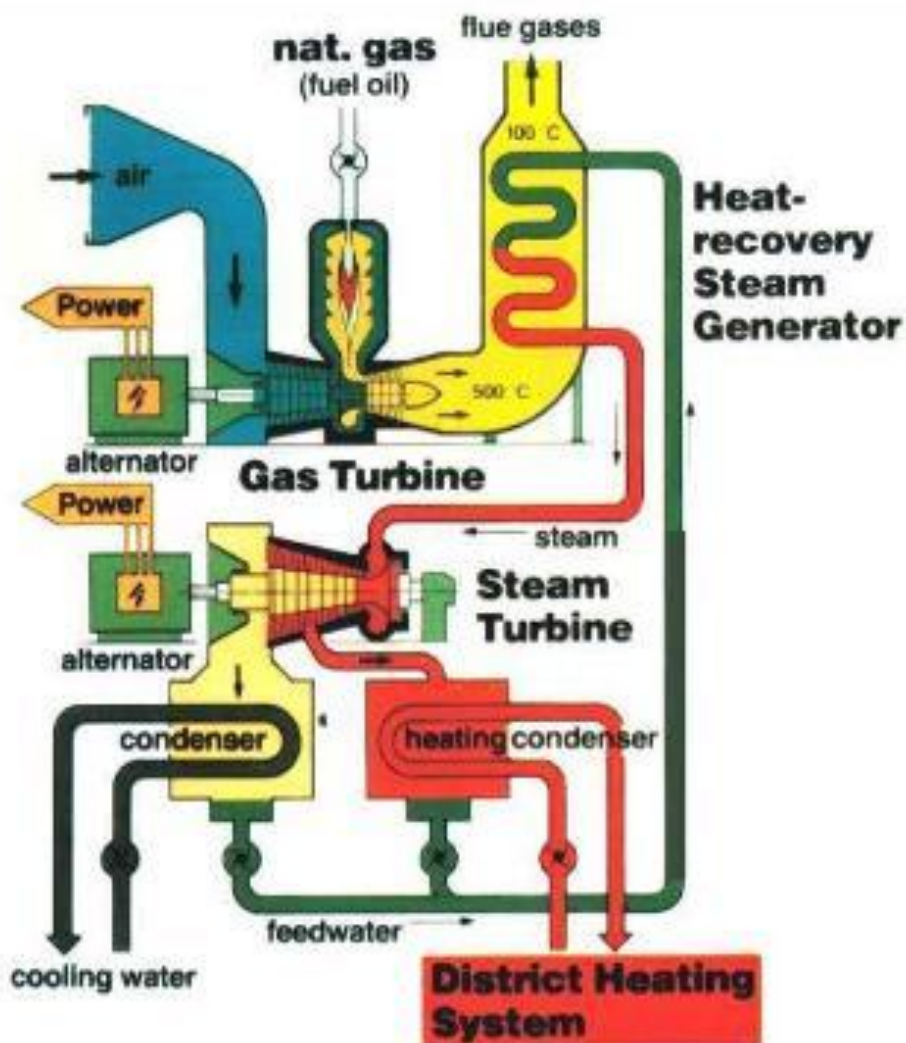


Figura 07: Esquema de funcionamento de ciclo combinado com turbina a gás e turbina a vapor. ARONA (2009).

2.2.4. Microturbina (μ TG)

As microturbinas a gás (μ TG) são turbinas de menor escala, (ANDREOS 2013), “sua capacidade de geração elétrica varia de 30 a 250 kWe e através de combinações de módulos podem chegar a 1.000 kWe. As μ TG operam em altas rotações chegando a 90.000 rpm. Podem ser usadas somente na geração de energia elétrica ou associada a outros equipamentos permitindo o aproveitamento do rejeito térmico dos gases de exaustão configurando o sistema de cogeração de energia *Combined Heat and Power* (CHP). Podem ser alimentados por gás

natural, gás liquefeito de petróleo (GLP), gases de processos ou combustíveis líquidos, como gasolina, querosene e óleo diesel.”.

As configurações de uma μ TG são semelhantes às de uma TG, no entanto as μ TG possuem algumas características de controle, dimensões reduzidas, menores custos de manutenção em relação aos motores convencionais, menor ruído e sistemas de recuperação de calor integrado, além de demais itens pertinentes ao funcionamento específico do equipamento. Conforme figura 08.

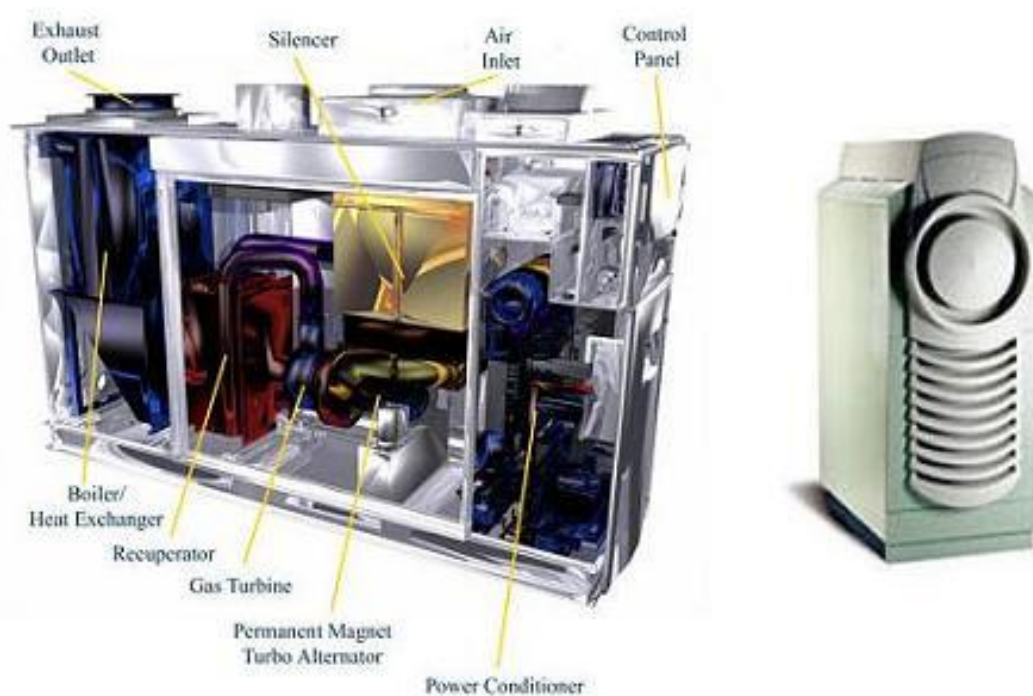


Figura 08: Esquema interno de uma microturbina a gás. RIBEIRO (2011).

De acordo com (ANDREOS 2013), “a Microturbina é constituída pelos seguintes componentes básicos: o compressor, a turbina, o gerador de energia elétrica e o recuperador de calor. O compressor-turbina é o coração da microturbina e em geral é montado em um eixo único em conjunto com o gerador elétrico, seus mancais são flutuantes e todo o conjunto é desenvolvido com tecnologia aeroespacial. Para efeito de manutenção é previsto a troca do conjunto eixo-compressor-turbina após um determinado número de horas de operação. Seu

rendimento elétrico médio é de 25 a 33% e no processo *Combined Cooling, Heat, and Power* (CCHP) ou tri-geração, o FUE pode chegar a 85%”.

2.2.5. Outras tecnologias

Em sua dissertação (ANDREOS 2013), listou três tecnologias alternativas para produção de energia sendo: os Motores *Stirling*, o Ciclo Orgânico de *Rankine* e a Célula Combustível.

Motores *Stirling* (MS)

Os Motores *Stirling* são motores a combustão externa (MCE), podendo trabalhar com qualquer combustível, seja gás natural, gasolina, etanol, GLP, entre outros. A aplicação em cogeração pode ser feita em residências com rendimento elétrico de 6 a 8% (CARBONTRUST, 2010). Sua vantagem frente aos MCI é o maior rendimento térmico, menor impacto ambiental além de possibilitar o uso de combustíveis alternativos, conforme ANDREOS (2013).

Ciclo Orgânico de *Rankine* (COR)

O Ciclo Orgânico de *Rankine* tem o mesmo princípio da TV, com a diferença de usar um fluido orgânico ao invés de água. O COR é apropriado para recuperação de calor com temperaturas de até 250 °C e seu rendimento elétrico é de aproximadamente 20% (ANDREOS 2013).

Célula Combustível (CC)

A Célula Combustível tem por característica a conversão direta da energia química de um combustível em eletricidade, é silenciosa e compacta, sem partes móveis e elevada eficiência. Pode ser alimentada por diversos combustíveis como hidrocarbonetos, álcoois e hidrogênio, possui potência de 5 kWe a 2 MWe e rendimento elétrico de 30 a 60% (ANDREOS 2013).

2.3. Resfriadores de Líquido por Absorção (ABS) “Chillers”

Os resfriadores de líquido por absorção (ABS) *Chillers* são equipamentos cuja finalidade é a produção de água gelada para abastecimento de equipamentos chamados de climatizadores (*fan coils*), que servem para climatização de ambientes. Estes equipamentos podem utilizar em sua estrutura construtiva a água como fluido refrigerante, o seu ciclo frigorífico interno apresenta cinco estágios principais:

I. “O refrigerante (água) em estado líquido é aspergido sobre os tubos do evaporador, no lado casco do evaporador que está em quase vácuo (6 mmHg), provocando a sua evaporação e conseqüente retirada de calor sensível da água gelada que passa dentro dos tubos do evaporador (e que será utilizada, portanto para climatizar os ambientes desejados), baixando a sua temperatura, em média, de 12,5°C para 7°C” (PECE-ERG-003-COGERAÇÃO, 2015). Conforme figura 09;

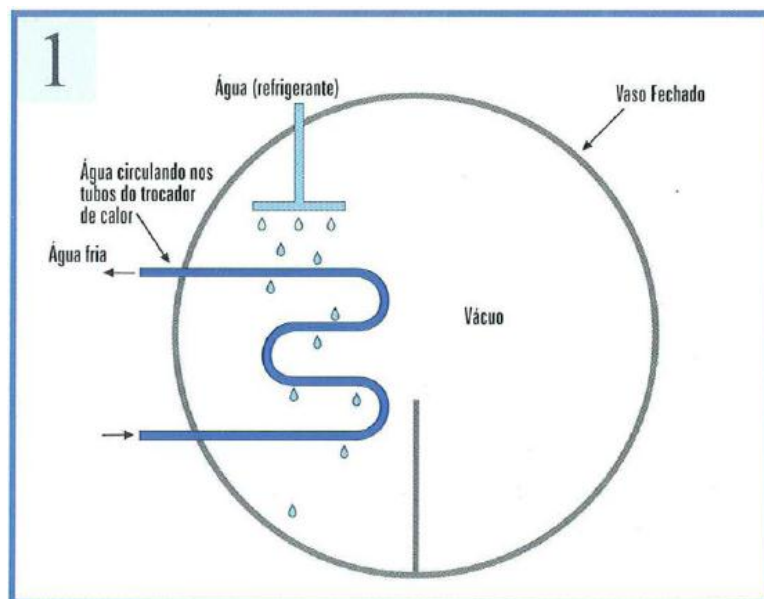


Figura 09: Esquema de funcionamento do ciclo frigorífico por absorção. (PECE-ERG-003-COGERAÇÃO, 2015).

II. No mesmo compartimento e simultaneamente, uma “solução concentrada de brometo de lítio (LiBr) é aspergida no lado casco do absorvedor. Por diferença de pressão e pela afinidade química, a solução concentrada de LiBr absorve o vapor

d'água (refrigerante), atingindo o seu limite de absorção. O resfriamento provocado pela passagem da água de torre condensa a solução que se acumula no fundo do trocador” (PECE-ERG-003-COGERAÇÃO, 2015). Conforme figura 10;

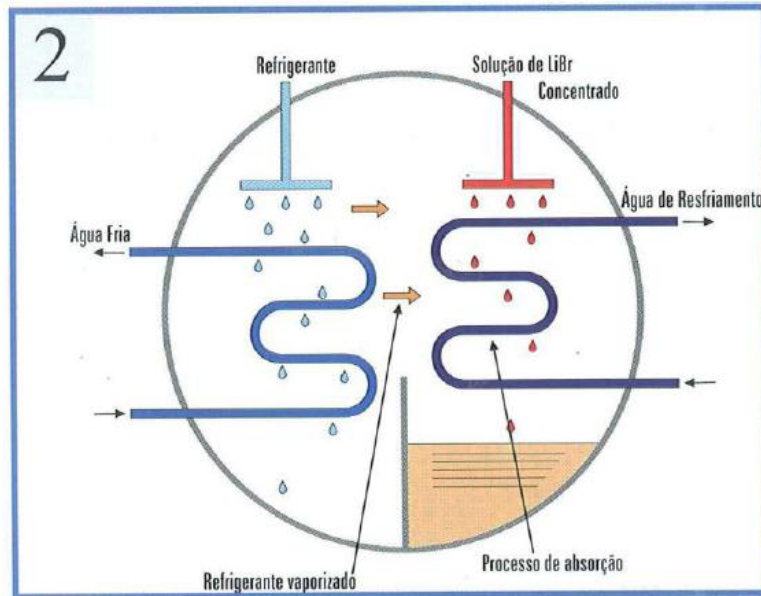


Figura 10: Esquema de funcionamento do ciclo frigorífico por absorção. (PECE-ERG-003-COGERAÇÃO, 2015).

III. “A solução fraca ou diluída de LiBr acumulada é bombeada para o gerador. O Gerador aquece a solução diluída, através de uma fonte de calor externa (Gás Natural, Óleo diesel, água quente, vapor superaquecido ou gases quentes), promovendo a separação entre a H₂O e o LiBr através da evaporação do refrigerante (H₂O)” (PECE-ERG-003-COGERAÇÃO, 2015). Conforme figura 11;

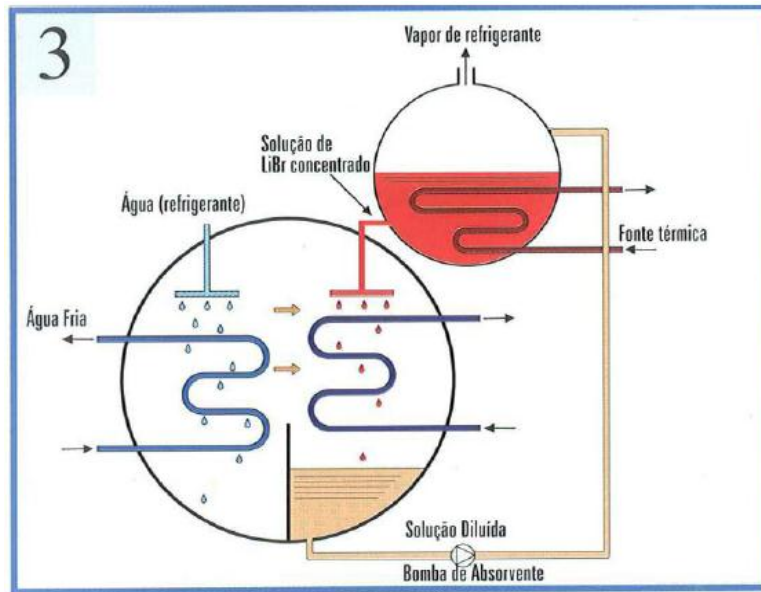


Figura 11: Esquema de funcionamento do ciclo frigorífico por absorção. (PECE-ERG-003-COGERAÇÃO, 2015).

IV. “A solução concentrada de LiBr retorna para o absorvedor, reiniciando o ciclo de absorção. E o refrigerante (H₂O) vaporizado flui para o condensador onde é condensado, retornando ao estado líquido através da retirada de calor latente pelo resfriamento provocado pela circulação da água de torre” (PECE-ERG-003-COGERAÇÃO, 2015). Conforme figura 12;

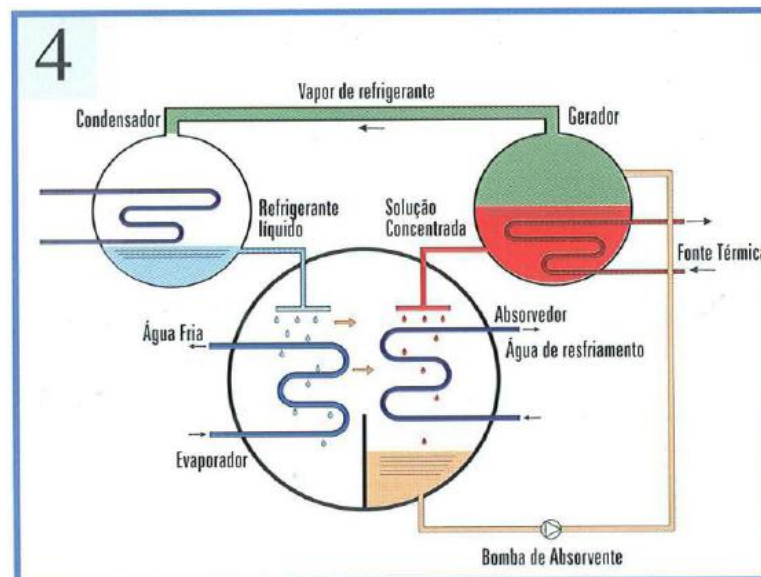


Figura 12: Esquema de funcionamento do ciclo frigorífico por absorção. (PECE-ERG-003-COGERAÇÃO, 2015).

V. “O refrigerante (H₂O) em estado líquido é aspergido novamente sobre os tubos do evaporador reiniciando o ciclo básico de refrigeração de um *Chiller* por absorção.” (PECE-ERG-003-COGERAÇÃO, 2015). Conforme figura 13;

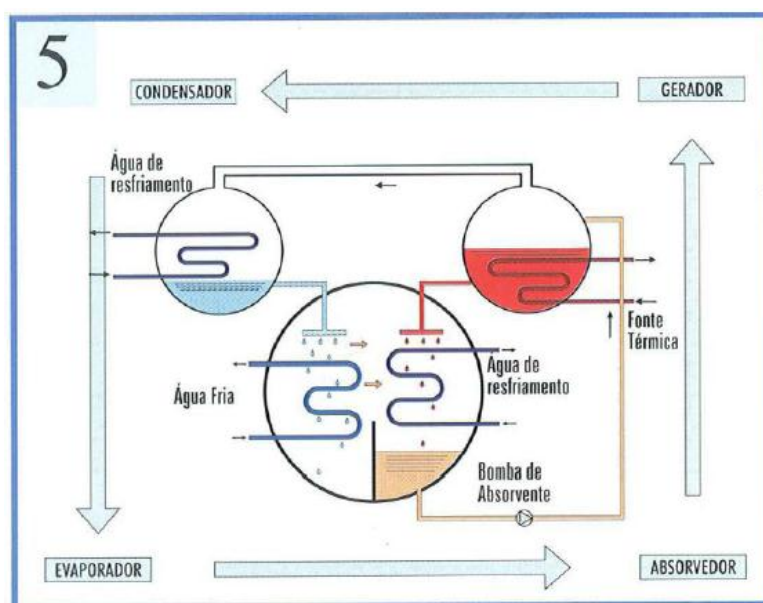


Figura 13: Esquema de funcionamento do ciclo frigorífico por absorção. (PECE-ERG-003-COGERAÇÃO, 2015).

“A característica particular do sistema de absorção consiste em requerer um consumo muito pequeno de energia elétrica, contudo, deve-se dispor de uma fonte térmica de temperatura relativamente alta (100°C). O equipamento envolvido em um sistema de absorção é maior e mais pesado que um sistema de compressão de vapor, e pode ser economicamente justificado nos casos onde é disponível uma fonte térmica adequada e que, de outro modo seria desperdiçada (Wyllen 1995), como é o caso da cogeração” (SOLER 2013).

“O *Chiller* por absorção utiliza uma pequena parcela de energia elétrica, equivalente a 0,03 kWe por TRh de refrigeração produzido, para alimentar o seu painel elétrico, as bombas de solução, a bomba de vácuo e algumas válvulas solenoides. Opera de forma silenciosa e sem vibração por possuir pequenas

peças móveis e por consequência possui menor custo de manutenção” (ANDREOS 2013).

As figuras 14 e 15 mostram os tipos de equipamentos por absorção *Chillers* disponíveis no mercado.



Figura 14: ABS Queima direta (a), Vapor (b) e Água quente (c). (ANDREOS 2013).



Figura 15: ABS *three fuel*; Vapor, Água quente e Gás natural. (ANDREOS 2013).

Equipamentos tipos *Chiller* por absorção NH₃ estão disponíveis em módulos de capacidade de até 5 TR e os ABS de LiBr estão disponíveis na faixa de capacidade de 5 a 6.000 TR. Um TR corresponde a 12.000Btu's.

A tabela 03 aponta os principais fabricantes de Chillers de absorção presentes no Brasil.

Tabela 03: Principais fabricantes de ABS presentes no Brasil. (ANDREOS 2013).

Fabricante	Origem
Carrier	EUA/Coréia/China
LS Cable	Coréia
Thermax	Índia
York	EUA/China
Broad	China
Kawasaki	Japão
Robur	Itália

2.4. Resumo das principais tecnologias

De acordo com a dissertação do ANDREOS (2013), com base nas tecnologias de cogeração investigadas, foi elaborada uma tabela resumo das suas principais características com destaque as vantagens, desvantagens e faixa de potência de geração elétrica. Vide tabela 04.

Tabela 04: Resumo das características das tecnologias de cogeração. (ANDREOS 2013).

Sistema	Vantagens	Desvantagens	Pot. Geração Energia El.
Turbina a Gás	Alta confiabilidade;	Requer gás a alta pressão ou compressor de gás;	500 a 2.500 kW
	Baixa emissão de gases poluentes;	Baixa eficiência com carga parcial;	
	Grande quantidade de energia térmica disponível;	Rendimento depende das condições do ambiente;	
	Não necessita sistema de refrigeração;	Tempo de instalação é alto;	
Microturbina	Menor número de partes móveis (baixo desgaste);	Alto custo inicial;	30 a 250 kW
	Pequenas dimensões e baixo peso;	Relativamente baixo rendimento mecânico;	
	Baixa emissão de gases poluentes;	Limitada a sistemas de cogeração de baixa temperatura;	
	Não necessita sistema de refrigeração;		
	Tempo de instalação é baixo;		
Motor a Combustão Interna (Ciclos Otto e Diesel)	Alta eficiência e possibilidade de operar com carga parcial;	Alto custo de manutenção;	Ciclo Otto até 8 MW
	Partida rápida;	Limitado a sistemas de cogeração de baixa temperatura;	
	Relativamente baixo custo de investimento;	Alta taxa de emissão de gases poluentes (ciclo diesel);	Ciclo Diesel 4 a 80 MW
	Pode ser usado em locais remotos;	Requer sistema de refrigeração;	
	Utiliza gás em baixa pressão;	Alto nível de ruído;	
Turbina a Vapor	Alta eficiência;	Partida lenta;	50 kW a 250 MW
	Flexibilidade de combustíveis;	Alto custo de investimento;	
	Capaz de atender a grandes demandas de calor;	Operação precisa de pessoal especializado;	
	Vida útil longa e de alta confiabilidade;		
Células a Combustível	Flexibilidade na relação potência/calor;		5 kW a 2 MW
	Baixa emissão de gases poluentes e baixo ruído;	Alto custo inicial;	
	Alta eficiência sobre toda faixa de potência;	Baixa durabilidade;	
	Flexibilidade modular;	Baixa densidade de potência;	
		Dependência de hidrogênio manufaturado;	

Conforme redação das principais tecnologias de cogeração descritas nos tópicos anteriores, foi elaborado um resumo destacando as faixas de rendimento elétrico (η_e) e do fator de utilização de energia na cogeração (FUE). (ANDREOS 2013). Vide tabela 05.

Tabela 05: Rendimento elétrico e FUE por gerador. (ANDREOS 2013).

Gerador	η_e	Cogeração (FUE)
MCI	25 a 45%	85%
TV	30 a 45%	50%
TG	35 a 45%	75%
μ TG	25 a 33%	85%
Ciclo Combinado	57%	75%

2.5. Configurações básicas da cogeração

As configurações básicas de cogeração estão relacionadas principalmente com a necessidade de utilização da planta, sendo:

Energia elétrica e Água gelada

Energia elétrica e Água quente

Energia elétrica, Água gelada e Água quente.

Energia elétrica, Vapor e Água quente.

Para o setor terciário, particularmente *Shopping Center*, o usual será o emprego de cogeração sendo Energia elétrica para operação e Água gelada para conforto térmico.

2.5.1. Energia elétrica e Água gelada

De acordo com ANDREOS (2013) “A combinação da produção de energia elétrica e água gelada é a configuração básica mais aplicável no setor terciário. A figura 16 e ilustra a produção de energia elétrica na base através de um MCI, *Topping cycle*, onde parte do calor residual é recuperado e encaminhado para um ABS que produz água gelada para a climatização dos ambientes”.

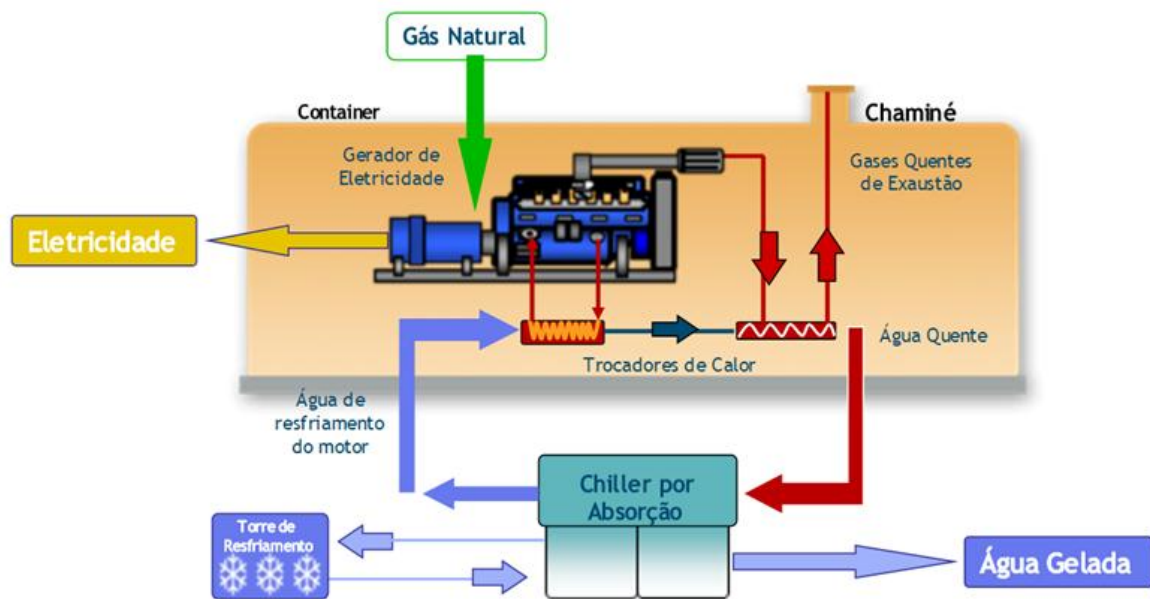


Figura 16: Cogeração no *Topping cycle*, motor a combustão interna. (ANDREOS 2013).

2.5.2. Energia elétrica e Água quente

Conforme figura 17, segue um exemplo da configuração básica de uma planta de cogeração produzindo energia elétrica na base através de um MCI, *Topping cycle*, onde parte do calor residual é recuperada para a produção de água quente. (ANDREOS, 2013).

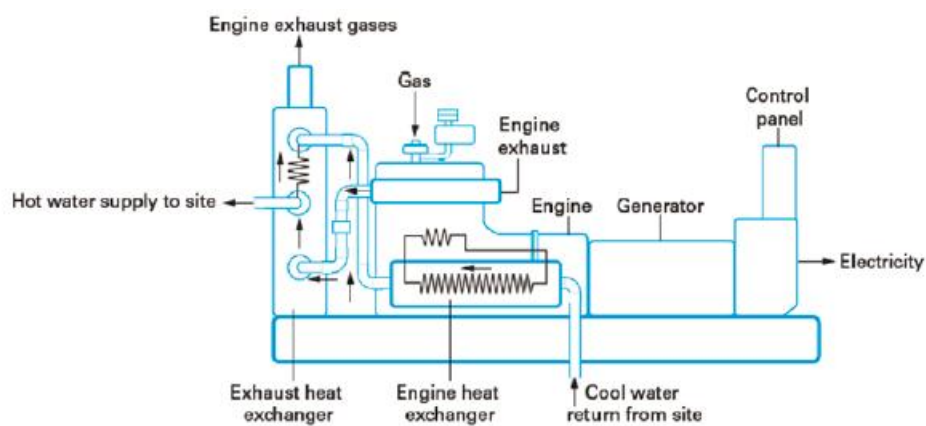


Figura 17: Cogeração no *Topping cycle*, motor a combustão interna. (ANDREOS 2013).

2.5.3. Energia elétrica, Água gelada e Água quente.

De acordo com (ANDREOS 2013). “A produção simultânea e sequenciada de energia elétrica, água gelada e água quente também pode ser chamada de tri-geração. A figura 18 ilustra a configuração básica de uma planta de cogeração produzindo energia elétrica na base através de um MCI, *Topping cycle*, onde parte do calor residual é recuperada para a produção de água quente e também água gelada respectivamente.”.

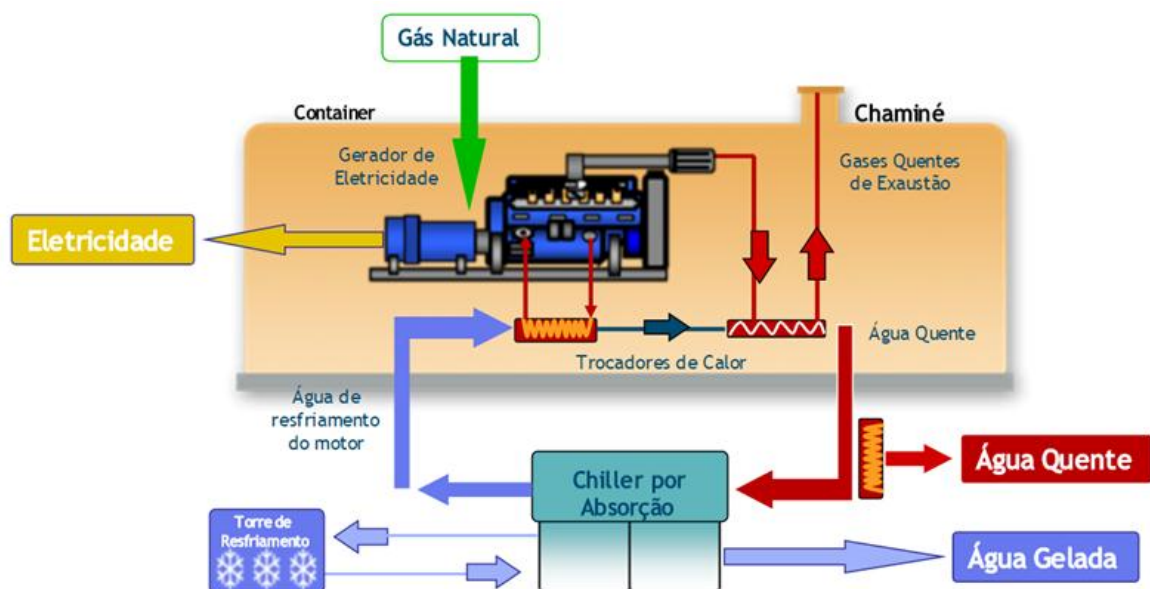


Figura 18: Cogeração em tri-geração Energia, água quente e gelada. (RIBEIRO 2010).

2.6. Fator de Utilização de Energia

De acordo com Andreos (2013). No que tange a geração de energia, podemos considerar que a cogeração se caracteriza pela produção de energia (elétrica e térmica), através de um ciclo com rendimento global:

Rendimento Elétrico:

$$\eta_e = \frac{E}{C}$$

(Eq.01)

Rendimento Térmico:

$$\eta_t = \frac{Q}{C}$$

(Eq.02)

Rendimento Global:

$$\eta_G = \frac{E + Q}{C}$$

(Eq.03)

Onde:

η = Rendimento

E = Energia elétrica produzida

Q = Calor produzido

C = Poder calorífico do combustível

Ou ainda podemos definir a quantificação do aproveitamento da energia primária através da equação do Fator de Utilização de Energia (FUE):

$$FUE = \frac{\dot{W} + \dot{Q}_u}{\dot{M}.comb \times PCI}$$

(Eq.04)

Onde:

\dot{W} = Potência elétrica gerada pelo sistema de cogeração (KW);

\dot{Q}_u = Potência térmica gerada pelo sistema de cogeração (KW);

\dot{M}_{comb} = massa do combustível fornecida ao sistema de cogeração (kg/s);

PCI = Poder calorífico inferior (kJ/kg);

Segundo Andreos (2013). “As plantas de cogeração podem ter diversas configurações e balanços energéticos, o objetivo principal em termos de aproveitamento térmico é desenvolver uma configuração em que o fator de utilização de energia (FUE) se aproxime do ideal (100%), em geral o FUE pode chegar a 85% (MARTENS, 1998).”

2.7. Cogeração qualificada.

2.7.1. Legislação brasileira para cogeração qualificada.

Conforme Andreos (2013). As principais leis brasileiras que orientam e estabelecem as regras para o processos de certificação de uma central de cogeração são as seguintes:

Decreto nº 2.003, de 10 de setembro de 1996. Define e regulamenta a produção independente e a autoprodução de energia elétrica com fontes alternativas e renováveis.

Lei nº 9.478, de 6 agosto de 1997. Política energética nacional que determina as diretrizes do uso racional das fontes de energia, inclusive as tecnologias alternativas.

Principais Mecanismos Regulatórios – ANEEL

Com base na legislação, a ANEEL estabelece mecanismos regulatórios para promover a participação das fontes alternativas na geração de energia elétrica no país, conforme descrito por Andreos (2013), a seguir:

Resolução nº 112, de maio de 1999 (antiga p/ registro de cogeração/geração)
Estabelece os requisitos necessários para a obtenção de registro ou autorização para implantação, ampliação ou repotencialização de centrais termelétricas, eólicas e demais empreendimentos operados com fontes alternativas de energia. Estabelece a obrigatoriedade de registro para centrais com capacidade de geração de até 5 MW e de autorização para centrais com capacidade superior a 5 MW.

Resolução Normativa nº 390, de dezembro de 2009 (nova p/ registro cogeração/geração). Estabelece os requisitos necessários à autorização para exploração e alteração da capacidade instalada de usinas termelétricas e de outras fontes alternativas de energia, estabelece os procedimentos para registro de centrais geradoras com capacidade instalada reduzida. Esta resolução foi criada para atualizar e completar os procedimentos contidos nas normas anteriores. Entre outros estabelece a necessidade de emissão da licença ambiental para início da operação da planta e revoga a resolução nº 112/99.

Qualificação de centrais de cogeração

Para a qualificação de uma central de cogeração, se faz necessário observar o disposto nas resoluções Nº 021 e 235 resumidas conforme Andreos (2013).

Resolução Nº 021, de 20 de janeiro de 2000 - ANEEL (antiga lei para qualificação). Com base nas políticas de incentivo ao uso racional dos recursos energéticos esta resolução estabelece os requisitos necessários para a qualificação das plantas de cogeração de energia. Tem por objetivo o melhor

aproveitamento da energia contida no combustível concorrendo com a geração individual de energia elétrica ou térmica.

Resolução N° 235, de 14 de novembro de 2006 - ANEEL (nova lei para qualificação). Estabelece os requisitos para a qualificação de centrais termelétricas cogedoras de energia e dá outras providências. Revoga a resolução n° 021/00. O dispositivo desta resolução visa estabelecer os requisitos para o reconhecimento da qualificação de centrais termelétricas cogedoras, com vistas à participação nas políticas de incentivo ao uso racional dos recursos energéticos. Esta resolução é válida para pessoa física e jurídica.

Requisitos para qualificação

Tendo como base o atendimento das resoluções e normativas que cabem aos conceitos de cogeração, se faz necessário o cumprimento dos requisitos para enquadramento e classificação para obtenção dos selos reguladores e condições de fornecimento.

Conforme descrito por Andreos (2013). A central termelétrica cogedora, para fins de enquadramento na modalidade de “cogeração qualificada”, deverá atender os seguintes requisitos:

1. Estar regularizada perante ANEEL, conforme o disposto na legislação específica e na Resolução no 112, de 18 de maio de 1999.
2. Preencher os requisitos mínimos de racionalidade energética, mediante o cumprimento das inequações (a) e (b) respectivamente:

A equação 05 indica que a energia termina na produção em cogeração dividida pela energia da fonte, deverá ser maior ou igual a 15% para o cumprimento de cogeração qualificada.

$$\frac{E_t}{E_f} \geq 15\%$$

(Eq.05)

A equação 06 indica que a equação 05 dividida pelo fator de ponderação + energia elétrica na produção em cogeração dividida pela energia da fonte deverá ser maior ou igual ao fator da cogeração, definido em planilha, para o cumprimento de cogeração qualificada.

$$\left(\frac{E_t}{E_f}\right) \div X + \frac{E_e}{E_f} \geq F_c\%$$

(Eq.06)

Onde:

E_f - Energia da fonte: energia recebida pela central termelétrica cogeneradora, no seu regime operativo médio, em kWh/h, com base no conteúdo energético específico, que no caso dos combustíveis é o Poder Calorífico Inferior (PCI);

E_e - Energia da utilidade eletromecânica: energia cedida pela central termelétrica cogeneradora, no seu regime operativo médio, em kWh/h, em termos líquidos, ou seja, descontando da energia bruta gerada o consumo em serviços auxiliares elétricos da central;

E_t - Energia da utilidade calor: energia cedida pela central termelétrica cogeneradora, no seu regime operativo médio, em kWh/h, em termos líquidos, ou seja, descontando das energias brutas entregues ao processo as energias de baixo potencial térmico que retornam à central;

F_c % - Fator de cogeração: parâmetro definido em função da potência instalada e da fonte da central termelétrica cogeneradora, o qual se aproxima do conceito de Eficiência Energética;

X - Fator de ponderação: parâmetro adimensional definido em função da potência instalada e da fonte da central termelétrica cogeneradora, obtido da relação entre a eficiência de referência da utilidade calor e da eletromecânica, em processos de conversão para obtenção em separado destas utilidades.

A tabela 06 apresenta os requisitos para qualificação da cogeração em função a sua potência instalada.

Tabela 06: Fatores FC% e X - requisitos de qualificação. ANDREOS (2013)

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
Demais combustíveis:		
Até 5 MW	2,50	32
Acima de 5 MW e até 20 MW	2,14	37
Acima de 20 MW	1,88	42
Calor recuperado de processo:		
Até 5 MW	2,60	25
Acima de 5 MW e até 20 MW	2,17	30
Acima de 20 MW	1,86	35

2.8. Combustíveis aplicados

Especificamente para a cogeração, são utilizados em sua maioria, combustíveis derivados de fontes não renováveis, ou seja, combustíveis fósseis como: óleo combustível e gás natural.

Como alternativa de fontes renováveis, é empregado o uso de biodiesel, bagaço de cana e carvão, sendo que os dois últimos são utilizados em plantas que utilizam caldeiras para produção de vapor que beneficiarão a usina e gerarão energia elétrica.

2.9. Demanda elétrica

A demanda elétrica trata-se da potência total que a instalação está utilizando em um determinado momento, sendo a soma das potências de todos os equipamentos ligados em um dado momento. Podemos medi-la, também, com consumo de energia da instalação dividido pelo tempo de utilização.

Para faturamento de energia pelas concessionárias, são utilizados intervalos de 15 minutos. Desta forma, a demanda de energia (medida em kW), é igual ao consumo a cada 1/4 de hora (medido em kWh). Em um mês, ocorrem quase 3 mil

intervalos de quinze minutos. Para o faturamento será considerado o valor mais alto.

Contrato de fornecimento de energia elétrica.

Em empreendimentos comerciais ou industriais é possível a contratação de energia no cativo (concessionárias reguladas e que atende uma região ou estado ex: AES ELETROPAULO), ou contratação diretamente em mercado livre (empresa geradoras, reguladas pela ANEEL e CCEE “câmara de comércio de energia elétrica”).

O contrato de energia cativo é estável e não sofre flutuação do mercado e sem prazo de término, no entanto está sujeito a regulação dos preços tabelados com a ANEEL e recebe os aumentos decorrentes de correções monetárias.

O contrato de energia mercado livre é um acordo firmado com empresas geradoras que, devidamente observado, possui riscos controlados. No entanto sofre flutuação do mercado e possui prazo de término. Caso o consumidor fique exposto, ou seja não possua contrato com qualquer gerador, o mesmo terá a opção de comprar energia em PLD (preço de liquidação das diferenças), é utilizado para valorar a energia comercializada no mercado de curto prazo, seu custo está sujeito a sazonalidade e disponibilidade da rede podendo ser mais ou menos caro que ambos os mercados (cativo ou mercado livre).

3. MAPEAMENTO ENERGÉTICO DO SETOR TERCIÁRIO

3.1. Segmentação do setor terciário

De acordo com Andreos (2013), “com o aumento crescente da oferta de gás no Brasil principalmente na região sudeste (pré-sal), caracterizado pela proximidade ao centro de carga da região metropolitana de São Paulo, abre-se a oportunidade para o desenvolvimento em grande escala de plantas de cogeração de pequena

capacidade nos centros de consumo brasileiros. Dentre os empreendimentos do segmento terciário (comércio e serviços) com demanda elétrica e térmica e com perfil para aplicação de cogeração de energia do ponto de vista técnico-econômico e operacional”. Desta forma foram listados os seguimentos que se destacam neste setor sendo:

- Supermercado
- *Shopping Center*
- Hospital
- Hotel
- Edifício Comercial e Corporativo
- *Data Center e Call Center*

Uma vez identificado os setores dos quais a cogeração se aplicaria por sua característica produção de duas ou mais energias diante de um único combustível de entrada, Andreos (2013) destacou sete parâmetros para aplicação de cogeração utilizando gás natural, sendo:

1° Programação de operação.

Para uma melhor viabilidade econômica das plantas de cogeração é importante que a programação horária cubra parte do horário de ponta, período de três horas compreendidas entre 18h00 e 21h00;

No segmento terciário, a maior parte dos empreendimentos que utilizam a rede da concessionária de energia elétrica está classificada em média tensão na faixa horo-sazonal A4-Azul ou A4-Verde onde o custo da energia elétrica no horário de ponta é em média de duas a quatro vezes superiores ao custo da energia fora do horário de ponta;

Devido ao alto custo com investimento em plantas de cogeração, o total de horas de programação diária é outro fator importante para viabilidade do projeto, quanto

maior o número de horas de operação por dia, maior será a economia operacional da solução e conseqüentemente menor o prazo para o retorno do investimento;

2° Demanda energética.

As demandas energéticas são fatores preponderantes para o balanço térmico/elétrico da solução.

Para a planta de cogeração atender os requisitos mínimos de racionalidade e eficiência e seja qualificada e conseqüentemente se beneficie da tarifa de gás natural com custo reduzido é necessária uma demanda térmica significativa em relação à energia elétrica produzida.

Com objetivo de atingir a melhor viabilidade financeira, a cogeração pode ser dimensionada para produção elétrica na base e possuir demanda térmica suficiente para recuperação do rejeito térmico disponível ou ser dimensionada para a produção térmica na base e possuir demanda elétrica suficiente para aproveitamento do calor residual.

3° Capacidade de investimento.

Como as soluções de cogeração exigem um investimento inicial substancialmente maior que as soluções convencionais (energia elétrica da rede e resfriadores de líquido elétrico) faz-se necessário que o investidor do setor terciário tenha disponibilidade de capital para os investimentos iniciais e que possua visão estratégica a médio e longo prazo.

4° Economia operacional.

Alguns estabelecimentos do setor terciário, apesar de possuírem perfil técnico e disponibilidade de capital para os investimentos iniciais na aplicação de cogeração, não possuem foco no custo operacional quando o mesmo é repassado ao condômino (*Shopping Center*) ou o custo operacional não representa grande impacto ao negócio do proprietário (hospital, edifício corporativo). Por outro lado, em ambientes onde o custo operacional reflete diretamente no custo dos serviços prestados (supermercado e hotel), a economia

operacional é um dos fatores fundamentais para a definição da solução a ser aplicada.

5° Segurança operacional.

O fator de indisponibilidade dos insumos energéticos (energia elétrica e térmica) deve ser analisado em consonância à estratégia de negócio do estabelecimento aplicado. Em alguns segmentos, quando o suprimento de energia é interrompido por períodos curtos não impactam de forma significativa nos negócios, portanto a redundância das utilidades não é de vital importância (supermercado e *Shopping Center*), porém em outros segmentos (hospital, hotel e *data Center*) a interrupção dos insumos energéticos, mesmo que por um período curto, podem não somente acarretar prejuízos financeiros como também colocar vidas humanas em risco.

6° Ciclo de negócio.

A volatilidade do cenário comercial em alguns segmentos do setor terciário pode impedir a viabilidade da instalação de uma planta de cogeração. Diversos estudos realizados no estado de São Paulo em mais as 23 plantas de cogeração em funcionamento na área de concessão da Comgás indicam que o retorno do investimento ocorre em média entre 5 e 7 anos de operação (ABEGÁS, 2011). Empreendimentos com perspectiva de continuidade de negócio inferior a 8 anos não consideram a solução de cogeração atrativa. A melhor aceitação da cogeração ocorre em segmentos com previsão de ciclo de negócio com mais de 10 anos.

7° Qualidade da manutenção.

A qualidade da manutenção prestada na cogeração é um dos fatores decisivos para a continuidade e a segurança na operação da planta. Para garantir a integridade da usina, pelo fato da planta ser constituída por muitos equipamentos interligados, é necessário manter em dia toda a programação de manutenção recomendada pelo fabricante de cada parte que constitui o sistema para o perfeito funcionamento e segurança do todo.

Por motivos de redução de custo, em alguns segmentos do setor terciário o tema manutenção preventiva é negligenciado ou não é tratado da forma correta, acarretando em problemas de funcionamento ou quebra de partes que compõe o sistema, obrigando a parada da planta de cogeração. Tal fato além de inviabilizar o retorno do investimento pode causar sérios prejuízos devido à quebra de contrato de garantia operacional.

A maioria das plantas de cogeração do segmento terciário é operada por empresas especializadas em soluções energéticas conhecidas como *Built, Operate and Transfer* (BOT). Estas empresas por firmarem contratos de garantia de fornecimento de energia e por possuir a expertise do negócio, realizam todas as manutenções preventivas de maneira a garantir a continuidade do sistema e se apropriam de parte da economia operacional para amortizar os seus investimentos e gerar receita para manutenção de seu negócio, diminuindo em parte o ganho de economia do proprietário do estabelecimento que optar pela cogeração, mas por outro lado, o deixará livre para focar seus esforços no seu negócio, não tendo que se preocupar com as questões de manutenção, operação e continuidade da geração de energia.

Os sete itens apontados acima por Andreos (2013), serviu como base para que ele elaborasse uma tabela com perfis de aplicação para cada segmento do mercado terciário. Conforme tabela 07.

Tabela 07: Segmentos do setor terciário com perfil para cogeração . ANDREOS (2013)

<i>Perfil de aplicação</i>													
<i>Segmento</i>	<i>Programação</i>		<i>Demanda Energética</i>			<i>Fatores decisórios</i>			<i>Operação</i>		<i>Cogeração aplicável</i>		
	<i>Ponta (h)</i>	<i>Operação diária (h)</i>	<i>Energia Elétrica</i>	<i>Frio</i>	<i>Calor</i>	<i>Capacidade Investimento</i>	<i>Economia Operacional</i>	<i>Segurança Operacional</i>	<i>Ciclo de Negócio</i>	<i>Qualidade Manutenção</i>	<i>Energia Elétrica</i>	<i>Água Gelada</i>	<i>Água Quente</i>
Supermercado	3	15	M	M	-	M	A	B	M	B	X	X	-
Shopping Center	3	15	M	A	-	A	B	B	A	M	X	X	-
Hospital	3	24	A	A	A	A	M	A	A	M	X	X	X
Hotel	3	24	M	A	M	A	A	A	A	M	X	X	X
Ed. Comercial e Corporativo	2	12	M	A	-	A	M	M	A	M	X	X	-
Data Center	3	24	A	A	-	A	M	A	A	A	X	X	-
Call Center	3	24	M	A	-	M	M	M	M	M	X	X	-

Legenda:

A (alto), M (médio), B (baixo), “-” (não se aplica) e X (aplicável).

Por fim ANDREOS (2013) conclui que: “Quanto aos tipos de geração de insumo energético, esta análise conclui:

- Para aplicação de tri-geração (energia elétrica, água gelada e água quente) se destacam os segmentos; Hospital e Hotel;
- Para aplicação de cogeração (energia elétrica e água gelada) se destacam os demais segmentos; Supermercado, *Shopping Center*, Edifício Comercial e Corporativo, *Data Center* e *Call Center*.”.

3.2. Potencial de aplicação no mercado de São Paulo.

De acordo com ANDREOS (2013) “Analisando apenas o segmento terciário que é o objeto deste trabalho, o potencial de mercado do estado de São Paulo é de 700 MW de geração de energia elétrica através de cogeração, consumindo cerca de 2,4 milhões de m³ de gás natural por dia, com instalação prevista de 680 MW em

MCI e 20 MW em TG (COGEN 2011)”. Em consulta recente a COGEN (2016) este número não sofreu alterações.

A tabela 08 mostra o potencial de cogeração no setor terciário no estado de São Paulo, indicando o número de clientes, potência e o consumo de gás natural por dia.

Tabela 08: Potencial cogeração setor terciário, estado São Paulo. ANDREOS (2013).

Segmento Terciário	Clientes	MW	Gás Natural (m ³ /dia)	MCI (MW)	TG (MW)
Shopping	94	132	444.029	132	0
Supermercados	550	358	1.213.580	358	0
Hotéis	247	50	170.302	50	0
AP	53	11	37.466	11	0
MP	194	39	132.836	39	0
Hospitais	193	118	398.723	98	20
GP	24	15	49.582	12	2
MP	169	103	349.141	86	18
Edifício Corporativo	100	42	141.120	42	0
Total	1.184	700	2.367.754	680	20

Legenda:

AP (alto Padrão), MP (médio padrão), GP (grande porte) e MP (médio porte).

4. SEGMENTO DE *SHOPPING CENTER*

De acordo com (GIL 2013) “Um *Shopping Center* é um empreendimento imobiliário de iniciativa privada que reúne, em um ou mais edifícios contíguos, lojas alugadas para comércio varejista ou serviços. Estas se distinguem umas das outras, pelo tipo de mercadoria que vendem (o *Mix de lojas*, tipos e tamanhos), pela sua organização sistemática e uma combinação entre espaços de venda e espaços de lazer”.

O *Shopping Center*, nada mais é, que um lugar onde são apresentados os produtos através das vitrines, que ditam a tendência e criam necessidades de moda sob o apoio de estratégias sofisticadas de propaganda e publicidade.

4.1. Tipos e variáveis

O *Shopping Center*, como estruturação, não é só um empreendimento comercial. Ele faz parte de um conceito de formação e organização da sociedade, no qual dita tendências, expõe conceitos e oferece serviços a diversos consumistas divididos em classes e níveis de sociedade.

De acordo com GARREFA E MOSSLER (2011), "Como todo produto, o imobiliário não estará livre de um ciclo de vida, mais ou menos curto. Este ciclo pode ser análogo à teoria de Vernon (1966) complementada por Davidson (1971), que identifica as fases do produto como: fase de Introdução, fase de maturação, fase de padronização e fase de declínio" listadas a seguir:

4.1.1. Fase da introdução: marcada pela incerteza com relação à aceitação do produto. Nesse caso as características do produto ainda não são padronizáveis, sujeitas a grandes variações. Essa fase também é marcada pela imprecisão no dimensionamento do mercado consumidor, o que a princípio concorreria para o baixo número de produtos circulantes e com elevado grau de diferenciação entre eles.

4.1.2. Fase da maturação: Aumenta o número de produtores, na medida em que também aumenta a diversificação do produto em função da batalha travada para a definição de um modelo hegemônico. Esta diversificação inicial cederá espaço a um movimento em direção à standardização do produto, que beneficiará a empresa ou grupo cujo produto sai vencedor da batalha da "introdução". Este grupo deterá o monopólio da inovação por determinado período de tempo. Vernon (1966) ainda explica que com a maior estabilidade da produção aumenta a utilidade das projeções de custos e a importância de controlá-los de maneira eficiente.

4.1.3. Fase da padronização: É o momento em que o produto atinge o clímax. O consumo se massifica e a escala de produção é otimizada, evidenciando com isso um aprofundamento de características da fase anterior de maturação do produto. Não obstante esta relativa estabilidade do produto e do mercado consumidor, a especificação dos insumos requeridos à produção passará por grandes mudanças. Cresce a importância relativa dos fatores capital e mão-de-obra enquanto declina a do fator tecnologia. Diminui a necessidade de trabalho ligado ao conhecimento enquanto aumenta a do trabalho diretamente ligado à produção, bem como a importância do aprimoramento da tecnologia incorporada nos equipamentos.

4.1.4. Fase de declínio: Caem as taxas de lucratividade do produto. Novos produtos estão iniciando sua substituição. Desta forma, decai o interesse do mercado no produto “antigo”. A produção tende a ser abandonada ou transferida para países menos desenvolvidos, onde ainda será capaz de gerar lucro.

De acordo com DOS SANTOS (2013), “*Shopping Center*, é um ambiente comercial que se caracteriza por um empreendimento organizado, definindo-o como um conjunto de lojas varejista organizada, planejadas, coordenado e colocado no mercado como uma unidade para clientes em uma área geográfica comercial. Precisa ser possuído e administrado como uma entidade. Sua Área Bruta Locável (ABL), deve ser normalmente superior a cinco mil m², praticando locação fixa com percentual, contemplando estacionamento dimensionado para sua área de vendas. Classificação ABRASCE (2012), por tipo de Empreendimento”.

A figura 19, descreve a forma de classificação de um Shopping Center, onde esta diretamente relacionado ao seu porte em ABL (área bruta de locação), e estilo (Outlet “ponta de estoca e termino de estação”; Temático “praia referencial ao local ; Life Style “publico classe alvo”).

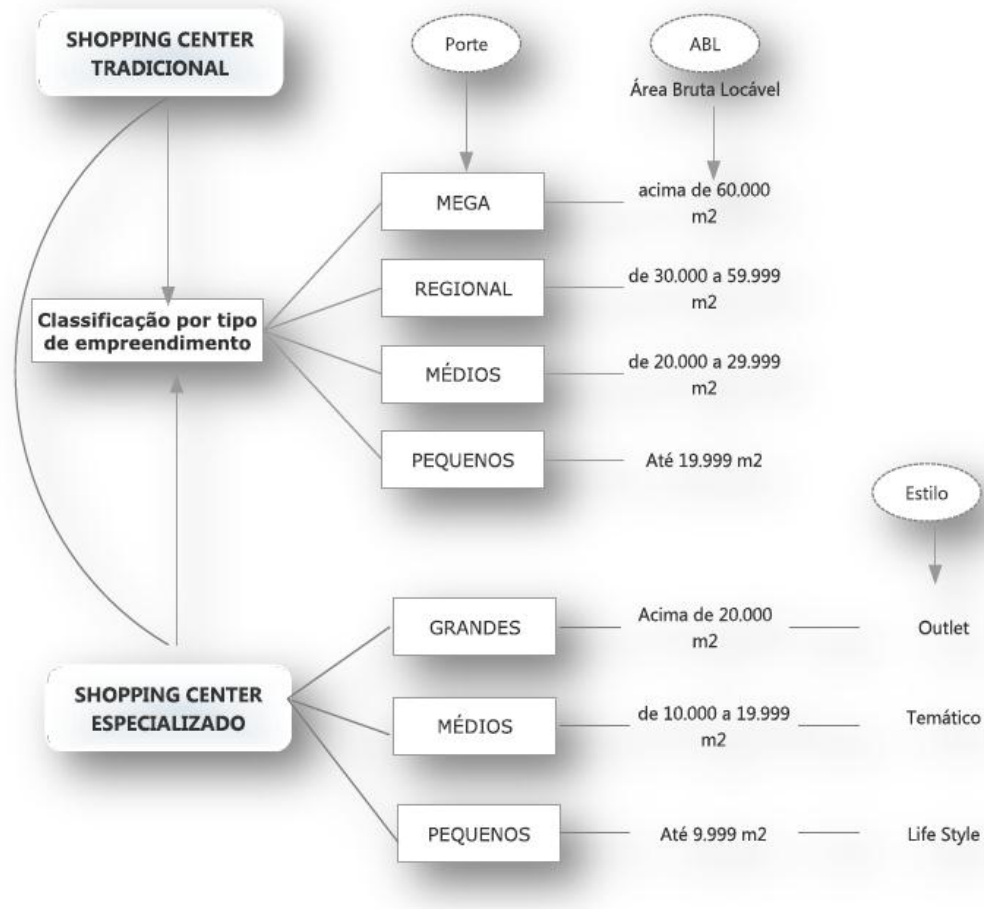


Figura 19: Classificação de tipos de *Shopping Center*. (DOS SANTOS 2013).

4.2. Segmentação de Lojas

Conforme DOS SANTOS (2013) “O *Mix de Lojas*, plano de distribuição dos tipos e tamanhos pelo *Shopping Center*, consiste em uma das dinâmicas fundamentais no planejamento de um *Shopping Center*, pois é através dele que é configurado a vocação comercial do empreendimento, qual o seu público alvo, e como fazê-lo, qual o perfil de lojas.” Vide figura 20.

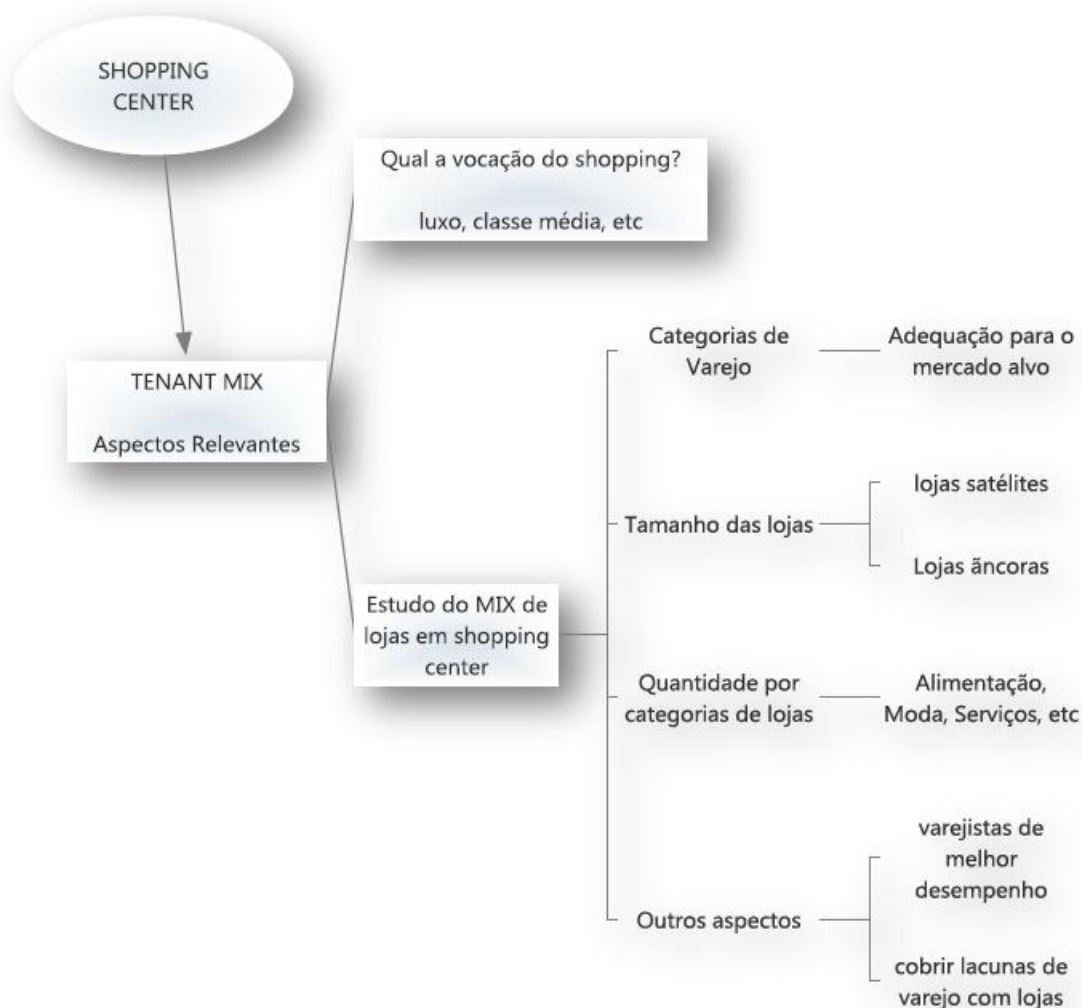


Figura 20: Concepção do *Mix de lojas*, aspectos relevantes no estudo e aplicação. (DOS SANTOS 2013).

Conforme explicado na figura acima, este tipo de análise é realizado através de um estudo, desde 1986 pela Associação Brasileira de *Shopping Center*, (ABRASCE), de viabilidade econômica para determinar a composição de lojas e o Plano de Mix que contempla a classificação dos diversos segmentos de varejo em *Shopping Center*. (DOS SANTOS 2013).

A figura 21, mostra um conceito de plano de Mix de *Shopping Center*, cujo sua aplicação é recomendada em todos os empreendimentos dessa natureza. Sua atualização é um trabalho constante que envolve profissionais do setor além de sua aplicação ser recomendada a todos os *Shoppings* como ferramenta de

aferição, estatística e apoio na gestão. Na figura a seguir conforme classifica a ABRASCE (2013), segue a ilustração do Plano de Mix em *Shopping Centers* no Brasil. (DOS SANTOS 2013).



Figura 21: Classificação do Mix de lojas. (DOS SANTOS 2013).

4.3. Perfis de consumo

Ao falarmos de perfil de consumo em *Shopping Center*, estamos falando diretamente do consumo de carga elétrica e água gelada.

Em um *Shopping Center*, eles são determinados em função a sua área e seguimento e podem variar de acordo com o padrão e o tipo de cliente a quem o mesmo será locados.

Para efeito de estimativa de cálculo, há alguns índices práticos, que não se encontra em literatura nos quais podemos adotar implementação de lojas.

Elétrica:

Lojas Âncora - 150W/m²;

Lojas Mega – 190W/m²;

Lojas Satélite/Serviços – 230W/m²;

Lojas refeição – 500W/m²;

Mall – 100W/m²

Ar Condicionado

Lojas Âncora – Em sua maioria não é fornecido água gelada;

Lojas Mega - 1TR/25m²;

Lojas Satélite/Serviços - 1TR/25m²;

Lojas refeição - 1TR/12m²;

Mall – 1TR/20m²

TR corresponde à tonelada de refrigeração, trata-se de uma unidade de potência térmica.

4.4. Capacidade Instalada (Brasil, São Paulo etc.).

A tabela 09 mostra a quantidade de *Shopping Center* existente em operação no país, divididos por estado e a estimativa de crescimento até o final de 2016.

Tabela 09: Número de *Shopping Center* no Brasil e estimativa de crescimento em 2016 (ABRASCE, 2016).

ESTADOS	Nº DE SHOPPINGS EM OPERAÇÃO	Nº DE SHOPPINGS ESTIMADO PARA O FINAL DE 2016	ABL TOTAL EM OPERAÇÃO
SP	174	178	5.199.857
RJ	67	68	1.758.110
MG	45	47	1.089.373
RS	37	38	735.638
PR	32	33	716.568
SC	23	24	567.941
GO	22	22	508.968
BA	22	24	557.670
DF	20	21	428.423
CE	16	18	486.209
PE	15	15	559.451
AM	10	10	326.785
ES	9	9	289.056
PA	8	9	232.258
RN	7	7	165.933
MT	5	5	162.719
MA	6	8	180.124
PB	5	5	196.748
MS	5	5	151.142
AL	4	4	150.595
SE	3	3	116.321
PI	3	5	141.595
TO	2	2	39.842
RR	2	2	35.040
AP	2	2	50.133
RO	1	1	44.000
AC	1	1	28.257
Total	546	566	14.908.756

Conforme mencionado no item anterior, quando falamos em consumo de energia e provavelmente na possibilidade de implementação de cogeração no setor terciário e em particular em *Shopping Center*, basta citarmos que em 2006 a quantidade de ABL (área bruta de locação) no Brasil era de 7.492.000,00 m² e em 2016 a expectativa é de 14.908.756,00 m² (ABRASCE 2016), ou seja, praticamente irá dobrar o número de ABL em 10 anos no país, isso representa uma oportunidade concreta em apresentar um plano de utilização deste nicho que possui empreendedor com poder aquisitivo, gana de investimento desde que o mesmo seja rentável e em cifras.

4.5. Potencial de crescimento

Conforme ABRASCE (2016), A indústria de *Shopping Centers* continua em desenvolvimento no Brasil. O Censo ABRASCE 2015-2016 apresentou uma radiografia do setor, com um levantamento realizado pela Associação Brasileira de *Shopping Centers* (ABRASCE), em parceria com a GEU (Grupo de Estudos Urbanos), onde foram apresentadas importantes informações sobre o cenário de *Shopping Malls* no país, desde aspectos como faturamento, frequência, localização à estrutura. Para esta edição, foram convidados 538 empreendimentos em operação no Brasil. De acordo com pesquisas, 67% dos centros de compras inaugurados em 2015 estão concentrados no interior e em regiões metropolitanas.

Os dados apresentados nesta pesquisa destacam as vendas e o crescimento no setor de *Shopping Center* por região, e em função a área Bruta de Loja (ABL). Segundo ABRASCE (2016), “As vendas realizadas por região. Do total registrado em 2015, R\$ 151,5 bilhões - crescimento de 6,5% com relação a 2014 - os *Shoppings* no Sudeste: R\$ 87 bilhões, o da região Nordeste com R\$ 25,8 bilhões, o da região Sul (R\$ 18,17 bilhões), o centro-oeste (R\$ 13,5 bilhões) e o da região norte (R\$ 6,9 bilhões). O Nordeste reforçou seu potencial este ano, superando mais uma vez o Sul em ABL e faturamento e apresentando *Shoppings* com maior

tamanho médio de ABL: 31.656 m², seguido pelas regiões Norte (29.089 m² de ABL) e Sudeste (28.168 m² de ABL).”

Na linha de apuração de dados, foi possível identificar a consolidação do interior como ponto de atração para novos *Shoppings*. Cerca de 67% das inaugurações de 2015 ocorreram fora das capitais. (ABRASCE, 2016). “O Censo ABRASCE 2015-2016 mostra que, no fim de 2015, 48% dos *Shopping Centers* estavam localizados em capitais brasileiras e 52% em outras cidades. Ainda, 41% do total dos centros de compras estão concentrados em cidades com menos de 500 mil habitantes, o que aponta para uma tendência cada vez maior de interiorização desses empreendimentos. Em 2016, dos 30 lançamentos anunciados até o fim do ano, 23 estão previstos para ocorrer fora das capitais.”.

Uma tendência mercadológica é a criação de espaços multiusos, ou seja, não será construído apenas empreendimento tipo *Shopping Centers* e sim centros comerciais mistos com *Shopping* e prédios comerciais, *Shopping* e prédios residenciais, *Shopping* e hotéis, *Shopping* e Faculdade. (ABRASCE, 2016) “Cada vez mais comuns, os complexos multiuso otimizam a exploração dos espaços e oferecem maior comodidade e conveniência aos frequentadores.”.

Dados (ABRASCE, 2016):

- *Shopping Centers* em operação: 538;
- Número de cidades com *Shoppings* no Brasil, ao final de 2015: 196;
- Total de ABL (Área Bruta Locável) no Brasil: 14,680 milhões de m² (aumento de 6% em relação ao ano anterior);
- Faturamento total do Brasil em 2015: R\$ 151,5 bilhões, o que representa um crescimento de 6,5% em relação a 2014;
- O Sudeste é a região do Brasil que, disparado, obteve o maior faturamento do setor: R\$ 87 bilhões. O segundo melhor desempenho foi da região Nordeste, com R\$ 25,8 bilhões, seguido pela região Sul (R\$ 18,17 bilhões), Centro-Oeste (R\$ 13,5 bilhões) e Norte (R\$ 6,9 bilhões);

- 89% dos *Shopping Centers* brasileiros são empreendimentos do tipo tradicional e 11% especializados (*outlet, lifestyle* e temáticos). Destes, 15% são *outlets*.
- 48% dos *Shopping Centers* estão localizados em capitais brasileiras e 52% em outras cidades;
- Os *Shoppings* brasileiros receberam cerca de 444 milhões de visitas por mês em 2015, o que representa um aumento de 3,2% em relação ao ano de 2014;
- Existem mais de 98.200 lojas nos 538 *Shopping Centers* brasileiros;
- Existem 770.597 vagas de estacionamento em *Shoppings* em todo o território nacional;
- 2.581 salas de cinema nos centros de compra de todo o Brasil;
- Estima-se que haja mais de 1 milhão de empregos diretos nos *Shoppings* brasileiros (aumento de 5,5%);

5. ESTUDO DE CASO APLICAÇÃO DA COGERAÇÃO EM UM SHOPPING CENTER

5.1. Estudo referencial em 2013

Em 2013 (Andreos), ao defender seu mestrado com um estudo de caso sobre a implantação de cogeração em um *Shopping Center* na fase de concepção onde a demanda elétrica da edificação seria de 7.700 kW em uma contratação elétrica no cativo AES Eletropaulo A4 Azul. Sua carga térmica seria de 2.600 TR, composta por 4 unidades de 650 TR, resfriadores de líquido com compressores centrífugos e condensação a água. E a operação do *Shopping Center* com horário de funcionamento: operação Ponta: 66 h/mês, fora de Ponta: 384 h/mês, 12 meses por ano.

Na figura 22, a seta vermelha aponta o custo da energia elétrica em MWh no cativo AES Eletropaulo A4 Azul praticado em 2013.

Cálculo da tarifa de energia elétrica:

Cálculo custo de Energia Elétrica - Sistema Convencional

AES Eletropaulo A4 AZUL	Custo s/ Impostos	Custo c/ Impostos	Demanda (kW)	Consumo (kWh)	Custo (R\$)
Demanda de Ponta	R\$ 11,32 /kW	R\$ 14,80 /kW	7.700	-	1.367.278
Demanda Fora de Ponta	R\$ 6,32 /kW	R\$ 8,26 /kW	7.700	-	763.357
Consumo Anual na Ponta	R\$ 229,88 /MW	R\$ 300,50 /MW	-	5.122.656	1.539.341
Consumo Anual F. Ponta	R\$ 147,68 /MW	R\$ 193,05 /MW	-	27.320.832	5.274.171
Total anual				32.443.488	8.944.147
Custo Específico EE (R\$/MWh)					275,68
				Impostos inclusos: PIS/PASEP/CONFINS	5,5%
				ICMS	18,0%

Figura 22: Cálculo do custo de energia elétrica em 2013 AES Eletropaulo A4 Azul. (ANDREOS, 2013).

Na figura 23 a seta verde aponta o custo do gás natural COMGAS, com os valores vigentes da portaria ARSESP nº 379, de 28-11-2012.

Cálculo da tarifa de Gás Natural:

Volume mensal:	696.388 m³				
Termo Variável (Cogeração)			Tarifas	Valores	
1	0,00 a 5.000	5.000,00 m ³	0,349115 R\$/m ³	R\$ 1.745,58	
2	5.000,01 a 50.000	45.000,00 m ³	0,274165 R\$/m ³	R\$ 12.337,43	
3	50.000,01 a 100.000	50.000,00 m ³	0,236021 R\$/m ³	R\$ 11.801,05	
4	100.000,01 a 500.000	400.000,00 m ³	0,179288 R\$/m ³	R\$ 71.715,20	
5	500.000,01 a 2.000.000	196.388,00 m ³	0,185334 R\$/m ³	R\$ 36.397,37	
6	2.000.000,01 a 4.000.000	0,00 m ³	0,167754 R\$/m ³	R\$ 0,00	
7	4.000.000,01 a 7.000.000	0,00 m ³	0,146787 R\$/m ³	R\$ 0,00	
8	7.000.000,01 a 10.000.000	0,00 m ³	0,125817 R\$/m ³	R\$ 0,00	
9	> 10.000.000	0,00 m ³	0,104361 R\$/m ³	R\$ 0,00	
			Termo Variável	0,192417 R\$/m³	
			Termo Fixo	0,902006 R\$/m³	
COGERAÇÃO			Valor fatura s/ ICMS	R\$ 762.142,78	
			Valor fatura c/ ICMS	R\$ 866.071,34	
			Tarifa média s/ ICMS	1,094423 R\$/m ³	
			Tarifa média c/ ICMS	1,243662 R\$/m³	

Figura 23: Cálculo do custo do gás natural COMGAS. (ANDREOS, 2013).

As figuras 22 e 23, mostram os custos de energia e gás que eram praticados em 2013,

Andreos (2013), concluiu em seu mestrado que os valores de energia elétrica frente aos custos de equipamento, ao preço do gás e a operação do sistema de cogeração proposto, não seria viável a implantação de um sistema de cogeração em um *Shopping Center* em sua fase de concepção.

Para viabilização deste projeto, (Andreos 2013), propôs uma redução de 15% do custo operacional, além de trabalhar com hipóteses de preço menor de gás natural e forçando um payback simples de 5 anos.

Em sua conclusão (Andreos 2013), aponta que um dos principais pontos para viabilização de projetos em cogeração, esta diretamente ligado ao custo do gás natural frente os demais custos com sistemas convencionais.

5.2. Estudo de caso 2016.

Trata-se de um *Shopping Center* já maturado (acima de 10 anos de sua inauguração), e sua operação encontra-se em sistema convencional sendo energia elétrica no Mercado Livre (ML), e com a utilização de resfriadores de líquido elétricos por compressão.

Horário de funcionamento:

Operação Ponta: 66 h/mês, Fora de Ponta: 384 h/mês, 12 meses por ano.

Energia elétrica

Contratação em Mercado Livre sendo tarifa Flex, ou seja, não há valores de horário de ponta (tarifa mais cara), é cobrado o valor excedente ao consumo contratado e não a demanda.

A demanda contratada é de 5.560 KW.

Consumo de 1.552, 395 MWh

Na figura 24, segue o demonstrativo de pagamento junto ao fornecedor de Mercado Livre (COMERC), no qual é feito a contratação direta de consumo de

energia junto ao fornecedor no qual foi regulado e teve seu contrato regulado junto a câmara de comercio de energia elétrica (CCEE). Assim como são discriminados os valores de fatura a serem pagos a Eletropaulo referente a demanda de energia e demais impostos que compõem a conta da unidade de consumo.



Comerc Energia Ltda.

Av. Brigadeiro Faria Lima, 2.055 - 4º andar
 Jardim Paulistano - São Paulo - SP - CEP: 01452-001
 T: 55 11 3039 3955
 F: 55 11 3032 5183
 E: gestao@comerc.com.br

DEMONSTRATIVO DE FATUR

Marco/2016

ENERGIA LIVRE

Descricao	Quantidade	Máxima Verificada	Contratada
Consumo Energia Livre (medidor)	1.545,079 MWh	07/03/16 17:45	3.674 kW
Consumo Energia Livre (no Centro de Gravidade)	1.583,706 MWh	30/03/16 13:00	3.563 kW
Montante de Energia adquirida	1.552,395 MWh		
Volume de Energia Recebido do PROINFA (no CG)	31,311 MWh		
Montante Energia vendida para CCEE	0,000 MWh		
Montante Energia comprada no mercado de curto prazo	0,000 MWh		

DISCRIMINACAO DA FATURA DA COMERC

Descricao	Quantidade	Preco	Valor
Remuneracao Comerc			R\$ 3.563,25
Total da Fatura Servicos:			R\$ 3.563,25

DISCRIMINACAO DA FATURA DA ELETROPAULO

Descricao	Quantidade	Preco	Consumidor A4 Valor
Demanda Ponta - ELETROPAULO (Desconto 49,825781 %)	5.560,000 kW	R\$ 6,21 /kW	R\$ 34.536,32
Demanda Fora Ponta - ELETROPAULO (Desconto 49,825781 %)	5.560,000 kW	R\$ 3,88 /kW	R\$ 21.592,17
Ultrapassagem - Ponta	0,000 kW	R\$ 24,76 /kW	R\$ 0,00
Ultrapassagem - Fora-Ponta	0,000 kW	R\$ 15,48 /kW	R\$ 0,00
TUSD Energia	1.545,079 MWh	R\$ 77,63 /MWh	R\$ 119.944,48
Estimativa Incidencia PIS/COFINS (5,0200 %)			R\$ 11.482,03
Sub-total:			R\$ 187.555,00
ICMS Distribuidora:			R\$ 41.170,61
PIS+COFINS DEVEC:			R\$ 8.947,50
ICMS DEVEC:			R\$ 87.782,26
Total ELETROPAULO			R\$ 325.455,37

DISCRIMINACAO DA FATURA DAS GERADORAS

Vendedor de Energia	Quantidade	Preco Unitario	Valor s/ ICMS
VOTORANTIM COMERC	1.552,395 MWh	R\$ 257,600 /MWh	R\$ 399.896,95
Total	1.552,395 MWh	R\$ 257,600 /MWh	R\$ 399.896,95

ICMS dessa transação será recolhido via DEVEC

CUSTO TOTAL DA ENERGIA LIVRE

Descricao	Antes ICMS	ICMS	Com ICMS
Fatura das Geradoras	R\$ 399.896,95	R\$ 0,00	R\$ 399.896,95
Fatura Energia Comerc:	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Fatura Servicos Comerc:	R\$ 3.563,25	R\$ 0,00	R\$ 3.563,25
Fatura ELETROPAULO:	R\$ 187.555,00	R\$ 137.900,37	R\$ 325.455,37
Encargo de Energia de Reserva: (referente a Fevereiro de 2016)	R\$ 11.317,35	R\$ 0,00	R\$ 11.317,35
Expectativa Modulacao versus Consumo + Zeragem Energia:	R\$ 677,48	R\$ 0,00	R\$ 677,48
Total	R\$ 603.010,03	R\$ 137.900,37	R\$ 740.910,40

Figura 24 - Demonstrativo real obtido sobre pagamento da conta de energia do mês de Março/2016

O gráfico 01 demonstra o consumo elétrico real em kWh por mês em 2015 na operação do *Shopping Center* objeto deste estudo de caso.

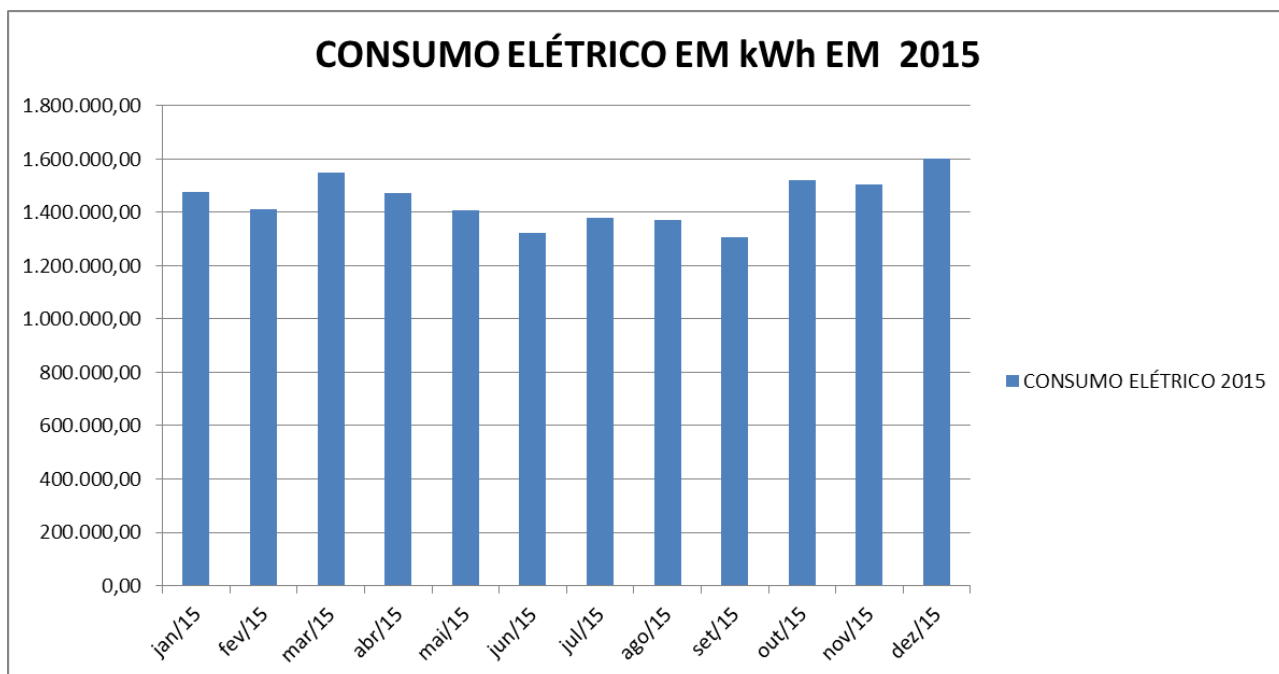


Gráfico 01 – Gráfico do consumo elétrico do *Shopping Center* ao longo do ano de 2015, incluindo os efeitos da sazonalidade.

Pelo gráfico 01, é possível perceber que, devido a sazonalidade (estações do ano: verão, outono, inverno e primavera), ocorrem pequenas variações no consumo do sistema de ar condicionado que influenciam no perfil energético em um *Shopping Center*, porem pouco relevante.

Sistema de Ar Condicionado:

Central de água gelada de 2.210 TR, composta por 2 unidades de Chillers da CARRIER modelo EVERGREEN 19XR de 1.105 TR, que são resfriadores de líquido com compressores centrífugos, e um tanque de termo acumulação com 3.500,00 m³ de água gelada e sistema de condensação a água.

A figura 25 apresenta o Chiller centrifugo da CARRIER modelo EVERGREEN 19XR de 1.105 TR em operação no *Shopping Center* em questão.



Figura 25 – *Chiller* Centrifugo da CARRIER de 1.105TR.

A figura 26 são apresentados as bombas de circulação de água gelada no sistema e de resfriamento dos Chillers centrífugos. Os tubos que estão com o acabamento em alumínio são as tubulações que transportam a água gelada que passam pelos Chillers e torro e tanque de armazenamento e vão para os Fan coils que refrigeram as lojas e corredores do Shopping. Já as tubulações que estão pintadas em verde, são as tubulações que transportam a água de resfriamento dos Chillers, este sistema é responsável por reduzir a temperatura dos compressores que se elevaram para produzirem o resfriamento da água gelada.



Figura 26 – Bombas de circulação de água gelada para os *fan coils*, para o tanque de termo acumulação e torres de condensação.

A figura 27 apresenta o tanque de termo acumulação com capacidade de 3.500,00m³ de água gelada. Esta capacidade de armazenamento se equivale a 11.000 TR's (toneladas de refrigeração), o tanque foi feito em chapa de aço e isolamento térmico. A estimativa de descarregamento no verão com uma temperatura de 27°C é de 9 horas.



Figura 27 – Foto do tanque de termo acumulação de 3.500.000,00lts de água gelada.

A figura 28 são apresentados os quadros de comando do sistema de ar condicionado de todo o Shopping center. Recentemente foram feitas reformas e automação do sistema que permite programações de carregamento noturno e desligamento automatizado de Chillers, bombas, e fan coils através de programações feitas pelo usuário.



Figura 28 – Foto dos painéis alimentadores elétricos e sistemas e automação das bombas, *Chillers*, torres de resfriamentos e *fan coils*.

O gráfico 02 demonstra o consumo térmico real em 2015, em TR (toneladas de refrigeração), na operação do *Shopping Center* objeto deste estudo de caso. Fica evidenciado a queda do consumo de toneladas de refrigeração no inverno.

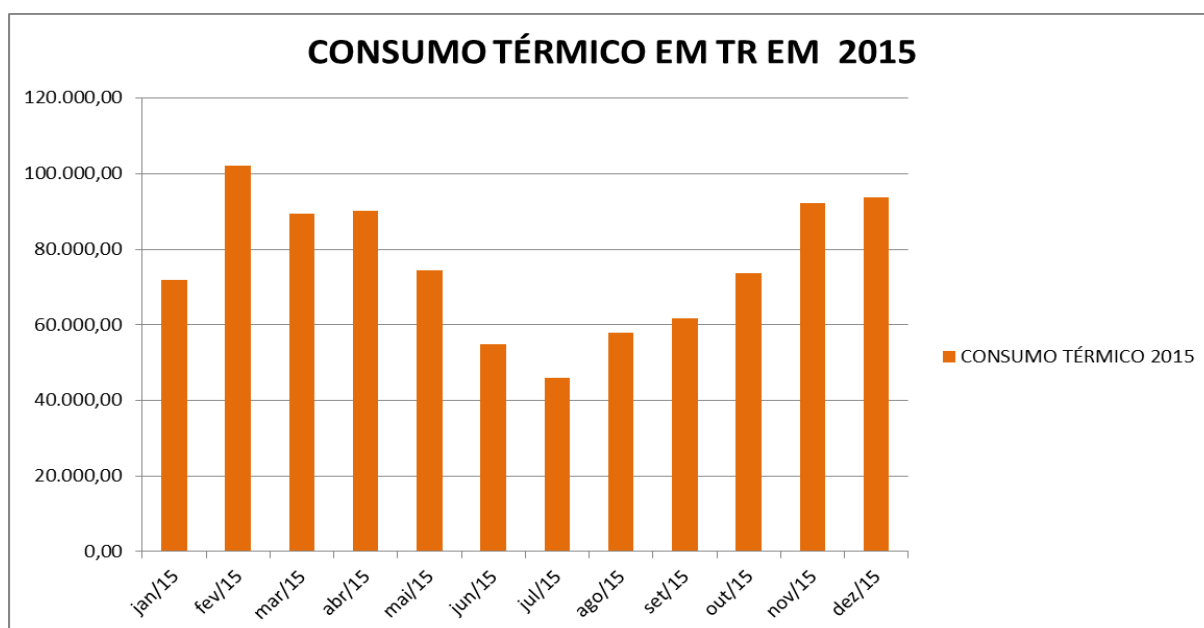


Gráfico 02 – Gráfico do consumo térmico em TR do *Shopping Center* ao longo do ano de 2015, incluindo os efeitos da sazonalidade.

Custo com água

As torres de resfriamento são abastecidas por caminhões pipa, em que o valor é de R\$ 12,00/m³, a taxa de evaporação da torre corresponde a 10.000lts de água a cada 2 horas de operação, sendo que o equipamento trabalha em sua maioria 14 horas parte a noite (9 horas), e parte em horários de pico do *Shopping* (5 horas fracionadas). Vale considerar que o tanque de termo acumulação com 3.500,00m³ (3.500.000,00lts), de água gelada é um circuito fechado do sistema de água gelada, logo o mesmo não sofre perdas, ou seja, uma vez carregado não serão necessários complementos adicionais. Por este motivo, este volume não será considerado nos cálculos

A figura 29 apresenta as torres de resfriamento da ALPHATERM, dimensionada para o resfriamento dos Chillers em operação no Shopping Center em questão.



Figura 29 – Foto das torres de resfriamento.

Estudo da Cogeração

Configuração básica:

Conforme as informações acima citadas, e em função das demandas de energia elétrica e água gelada será considerado um estudo de uma planta autossuficiente na produção de energia elétrica através de 3 motogeradores a gás natural modelo CG 260-12 CATERPILLAR com 3.333 ekW a 1.000RPM (rotações por minuto), e eficiência elétrica de 44,1% (conforme figura 30), sendo o rejeito térmico do escapamento e da camisa do bloco do motor recuperado para produção de água gelada através de Resfriadores de líquido por Absorção Dual do tipo Água Quente e Queima Direta no mesmo equipamento, modelo: TUMA / BROAD BH 800 (conforme figura 31) . Ou seja, quando a produção de água gelada do sistema de cogeração não for suficiente para suprir a demanda térmica, o aquecedor acoplado do tipo queima direta entra em funcionamento produzindo a energia térmica necessária para completar a demanda de água gelada requerida.

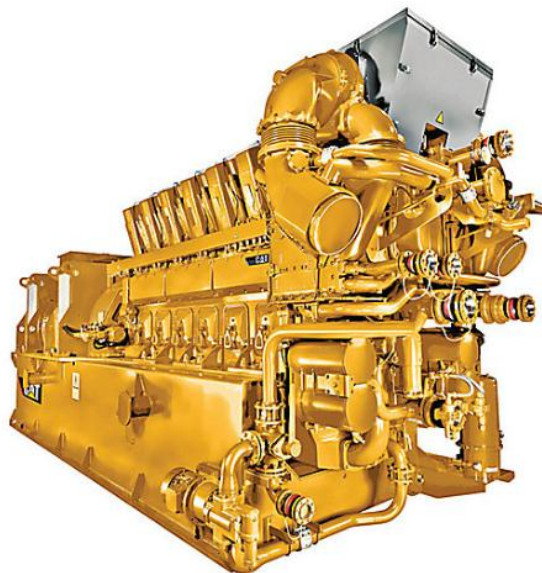


Figura 30 – Imagem do grupo gerador modelo CATERPILLAR CG 260-12. cat.com (2016)



Figura 31 – Imagem do Chiller de Absorção modelo: TUMA / BROAD BH 800. empresatuma.com.br (2016)

A figura 32 apresenta o esquema de cogeração que será aplicado no Shopping Center com a implementação dos geradores, trocadores de calor, recuperadores de calor e o Chiller de Absorção.

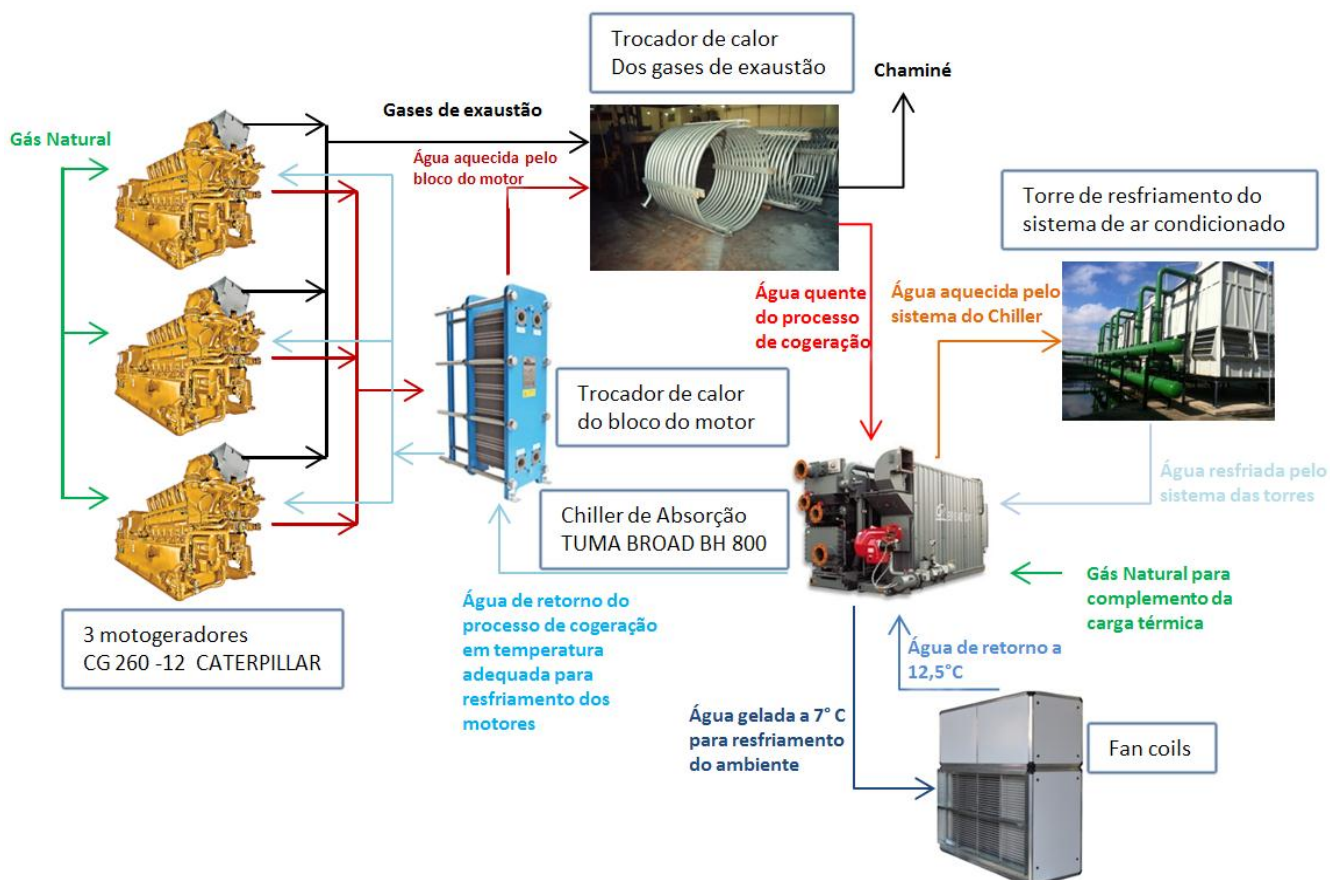


Figura 32 – Configuração esquemática da cogeração de energia elétrica e água gelada com Chiller de absorção para o Shopping Center.

Cálculo do Balanço energético:

Conforme descrito anteriormente, o *Shopping Center* em questão que já está em operação, terá seu sistema de ar condicionado substituído por um sistema em *Chillers* por absorção onde a demanda elétrica do Chiller centrífugo atual é de 900 kW e acrescentado o novo *Chiller* por absorção onde a demanda representa 78 kW, temos a nova demanda elétrica total de 4.738 kW ($5.560 - 900 + 20,4$). Sendo assim foi dimensionado um motogerador de capacidade de geração igual a 4.681 kWe

A figura 33 apresenta a configuração de cogeração com o balanço energético que será aplicado no Shopping Center.

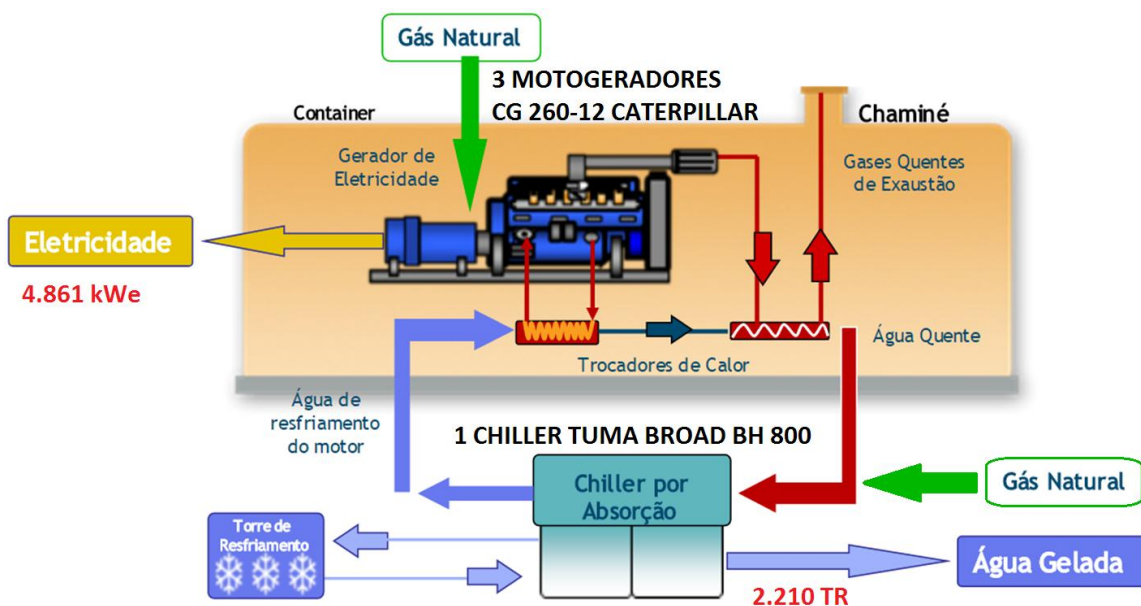


Figura 33 - Configuração cogeração estudo de caso *Shopping Center* ANDREOS (2013).

A tabela 10 demonstra os cálculos do balanço energético no caso específico do Shopping onde foram calculados em função a capacidade de geração elétrica o consumo de gás natural, e as energias produzidas nos recuperadores de calor do bloco de motor e exaustão.

Tabela 10 – Cálculo do balanço energético do estudo de caso *Shopping Center*

Balanço Energético	
Consumo Gerador:	0,2955 m ³ /kWh
Capacidade:	4.681 kW
Vazão horária GN:	1.383 m ³ /h
PCI GN	8.560 kcal/m ³
Energia Entra Gerador	11.840.176 kcal/h
Energia Térmica Bloco Útil	2.474.597 kcal/h
Energia Térmica Exaustão Útil	2.314.755 kcal/h
Energia Térmica Útil total	4.789.351 kcal/h
COP Chiller ABS AQ	0,8
Cap. Geração Térmica AG	3.831.481 kcal/h
Cap. Geração Térmica AG	1.267 TRh
Demanda Térmica Total	2.210 TRh
Cap. Gerador acoplado QD	943 TRh

Para o fator de utilização de energia

A tabela 11 apontará, com base em cálculos, o fator de utilização da energia primária (FUE), no caso específico do Shopping o gás natural, onde a partir desta única fonte gerou energia elétrica e energia térmica.

Tabela 11 – Cálculo do fator de utilização da energia do estudo de caso *Shopping Center*
Fator de Utilização de Energia - FUE

W	4.681 kW	$FUE = \frac{W + \dot{Q}_u}{\dot{Q}_{comb}} = 66\%$
Q_u	4.455 kW	
Q_{comb}	13.768 kW	

Cogeração Qualificada ANEEL

A tabela 12 visa verificar se a cogeração preencher os requisitos mínimos de racionalidade energética mediante ao cumprimento de itens exigidos pela ANEEL.

Tabela 12 – Cálculo da qualificação da cogeração do estudo de caso *Shopping Center*

Cálculo requisito de qualificação da Cogeração - ANEEL Resol. nº 235 14/11/06					
E_f	10.205 kWh/h				
E_e	3.470 kWh/h	$32\% = \frac{E_t}{E_f} \geq 15\%$	Cumpre	requisito (a)	
E_t	3.303 kWh/h				
X	2,13				
F_c	44%	$49\% = \left(\frac{E_t}{E_f} \right) \div X + \frac{E_e}{E_f} \geq F_c\%$	Cumpre	requisito (b)	

Cogeração Qualificada ANEEL

Cálculo da tarifa elétrica

Com base nos cálculos de balanço energético, cogeração qualificada e a conta de energia em mercado livre do Shopping center, podemos calcular o custo específico em R\$/MWh de energia elétrica que o Shopping paga para a composição dos custos no sistema convencional, conforme tabela 13.

Tabela 13 – Cálculo do custo da energia convencional do estudo de caso *Shopping Center*

Cálculo custo de Energia Elétrica - Sistema Convencional					
Mercado Livre	Custo s/ Impostos	Custo c/ Impostos	Demanda (kW)	Consumo (kWh)	Custo (R\$)
Demanda de Ponta	R\$ 6,21 /kW	R\$ 8,12 /kW	5.560	-	541.609
Demanda Fora de Ponta	R\$ 3,88 /kW	R\$ 5,07 /kW	5.560	-	338.397
Consumo Anual na Ponta	R\$ 0,47953 /kW	R\$ 0,62684 /kW	-	3.698.957	2.318.642
Consumo Anual F. Ponta	R\$ 0,33520 /kW	R\$ 0,43817 /kW	-	19.727.770	8.644.116
Total anual				23.426.726	11.842.763
Custo Específico EE (R\$/MWh)					505,52361
			Impostos inclusos:	PIS/PASEP/CONFINS	5,5%
				ICMS	18,0%

Para a composição dos custos do sistema em cogeração, mesmo sendo autossuficiente, se faz necessário considerar um período não inferior a 5% do

total de consumo do empreendimento para para paralelismo do sistema e eventuais falhas e/ou manutenção da planta de cogeração. Para tal, foi considerada a contratação de uma demanda de 4.411 kW AES Eletropaulo A4 Verde, neste caso para fugirmos do consumo de ponta e fora de ponta e um consumo correspondente a 5% do total para o *Shopping Center* em questão. Vide tabela 14

Tabela 14 – Cálculo do custo da energia em cogeração do estudo de caso *Shopping Center*

Cálculo custo de Energia Elétrica - Sistema Cogeração					
AES Eletropaulo A4 VERDE	Custo s/ Impostos	Custo c/ Impostos	Demanda (kW)	Consumo (kWh)	Custo (R\$)
Demanda única	R\$ 7,74 /kW	R\$ 10,12 /kW	4.411	-	535.523
Consumo Anual na Ponta	R\$ 0,78308 /kW	R\$ 1,02363 /kW	-	184.948	189.319
Consumo Anual F. Ponta	R\$ 0,34859 /kW	R\$ 0,45567 /kW	-	986.388	449.471
Total anual				1.171.336	1.174.313
Custo Específico EE (R\$/MWh)					1.002,54102
			Impostos inclusos:	PIS/PASEP/CONFINS	5,5%
				ICMS	18,0%

Cálculo da tarifa de gás

A tabela 15 aponta o calculo do valor do R\$/NM³ (reais / normal metro cubico) do gás natural em cogeração. Este calculo é feito com base na tabela da portaria ARSESP nº648, na qual é publicada e corrigida anualmente e apontam a tarifa média em função ao consumo e ao tipo de utilização.

Tabela 15 – Cálculo do custo do gás no estudo de caso *Shopping Center*

Volume mensal:		521.559 m ³			
Termo Variável (Cogeração)				Tarifas	Valores
1	0,00 a	5.000	5.000,00 m ³	0,456510 R\$/m ³	R\$ 2.282,55
2	5.000,01 a	50.000	45.000,00 m ³	0,358505 R\$/m ³	R\$ 16.132,73
3	50.000,01 a	100.000	50.000,00 m ³	0,308626 R\$/m ³	R\$ 15.431,30
4	100.000,01 a	500.000	400.000,00 m ³	0,234441 R\$/m ³	R\$ 93.776,40
5	500.000,01 a	2.000.000	21.558,72 m ³	0,242347 R\$/m ³	R\$ 5.224,69
6	2.000.000,01 a	4.000.000	0,00 m ³	0,219358 R\$/m ³	R\$ 0,00
7	4.000.000,01 a	7.000.000	0,00 m ³	0,191941 R\$/m ³	R\$ 0,00
8	7.000.000,01 a	10.000.000	0,00 m ³	0,164521 R\$/m ³	R\$ 0,00
9	>	10.000.000	0,00 m ³	0,136465 R\$/m ³	R\$ 0,00
Termo Variável				0,254713 R\$/m³	R\$ 132.847,67
Termo Fixo =				0,744929 R\$/m³	R\$ 388.524,21
COGERAÇÃO				Valor fatura s/ ICMS	R\$ 521.371,88
				Valor fatura c/ ICMS	R\$ 592.468,04
				Tarifa média s/ ICMS	0,999642 R\$/m ³
				Tarifa média c/ ICMS	1,135957 R\$/m³

Valores vigentes da tabela 15 são da portaria ARSESP nº 648, de 31-05-2016.

Considerações para o cálculo de tarifa de gás

De acordo com (ANDREOS 2013):

1. Segmento Cogeração destinada a consumo próprio
2. Medidor único para a planta de cogeração, com a soma dos volumes referentes ao consumo do motogerador (461.385 m³/mês) e do *Chiller* de absorção (60.174 m³/mês) totalizando o volume mensal médio de 530.924 m³/mês.
3. Classificação da faixa 5 com valor médio de R\$ 1,135957 por m³
4. Considerado os impostos PIS/PASEP/COFINS e ICMS de 12%

Memória de calculo

As tabelas 16, 17 e 18, mostraram os cálculos realizados em função as informações levantadas e as observações específicas a cada tabela.

A tabela 16 compara os custos da energia elétrica convencional, ou seja a energia elétrica paga anualmente a concessionária (mercado livre + transmissão + impostos), versus os custos de produção de energia anual em a cogeração.

No caso da cogeração, vale ressaltar que temos necessariamente a contratação de 5% de energia elétrica da rede para o paralelismo da planta e/ou manutenção do sistema.

Tabela 16 – Cálculo dos custos da energia convencional versus a cogeração no estudo de caso Shopping Center

UTILIDADES	CONVENCIONAL	COGERAÇÃO
ENERGIA ELÉTRICA	MERCADO LIVRE	AES Eletropaulo A4 VERDE
Demanda Energia Elétrica (kW)	5.560	4.411
Consumo Anual Ponta (kWh)	3.698.957	184.948
Consumo Anual Fora Ponta (kWh)	19.727.770	986.388
Consumo Anual Total (kWh)	23.426.726	1.171.336
(Fator de Carga Resultante)	0,78	
Custo Específico (R\$/MWh) - C/ Impostos	R\$505,52361	R\$1.002,54102
Custo anual total de energia elétrica	R\$11.842.763	R\$1.174.313
GERAÇÃO DE ENERGIA A GÁS NATURAL		Motogerador
Capacidade (kW)		4.681
Energia Elétrica Anual Gerada (kWh)		18.736.957
Consumo Anual de Gás Natural (m3)		5.536.621
Custo do GN (R\$/m3) - C/ Impostos		R\$1,135957
Custo com Manutenção do(s) gerador(es)		R\$936.848
Custo anual de geração de energia elétrica		R\$7.226.209
Custo do kWh Gerado (R\$/MWh) - C/ Impostos		R\$385,66611

A tabela 17 compara os custos para produção de água gelada no sistema convencional com o uso de energia elétrica juntamente com os custos operacionais versus os custos de produção de água gelada utilizando o Chiller de Absorção em cogeração.

Tabela 17 – Cálculo dos custos da energia para o sistema de ar condicionado no sistema convencional versus a cogeração no estudo de caso Shopping Center

AR CONDICIONADO ELÉTRICO		
Carga Térmica (TR)	2.210	2.210
Rendimento kW/TR (IPLV) da Central de Água Gelada	0,68	
Demanda kW/TR (COP) da Central de Água Gelada	0,75	
Demanda de Energia Elétrica do Sistema de Ar Cond (kW)	1.658	
Consumo EE Anual Total (kWh)	5.680.584	
Custo com Manutenção do Ar Condicionado	R\$331.500	
Custo com reposição de água e tratamento químico AC	R\$916.200	
Custo com Energia Elétrica - CAG	R\$2.871.669	
Custo Total da CAG	R\$4.119.369	
Custo Relativo por TR (R\$/TRh)	R\$0,4931	
AR CONDICIONADO A GÁS NATURAL (ABSORÇÃO ÁGUA QUENTE + QUEIMA SUPLEMENTAR)		
TR Queima Suplementar (TR)		943
ENERGIA TÉRMICA PRODUZIDA PELA QUEIMA DIRETA (TRh)		3.282.196
Consumo Anual de Gás Natural Queima Suplementar (m3)		722.083
Custo anual de GN adicional Chiller ABS QD		R\$820.255
Rendimento kW/TR (IPLV) da Central de Água Gelada		0,18
Demanda kW/TR (COP) da Central de Água Gelada		0,23
Demanda de Energia Elétrica do Sistema de Ar Cond GN (kW)		508
Consumo EE Anual Total (kWh)		1.503.684
Custo com Energia Elétrica - CAG		R\$579.920
Custo com Manutenção do Ar Condicionado		R\$198.900
Custo com reposição de água e tratamento químico AC		R\$1.409.507
Custo Total da CAG		R\$3.008.582
Custo Relativo por TR (R\$/TR)		R\$0,3601

Resultados financeiros

A tabela 18 compara os custos operacionais anuais do sistema convencional versus o sistema em cogeração

Tabela 18 – Cálculo do custo operacional no estudo de caso *Shopping Center*

CUSTO OPERACIONAL	CONVENCIONAL	COGERAÇÃO
Custo anual total de energia elétrica	R\$11.842.763	R\$1.174.313
Custo anual de geração de energia elétrica	-	R\$7.226.209
Custo anual de GN adicional Chiller ABS QD	-	R\$820.255
Custo com Manutenção do Ar Condicionado	R\$331.500	R\$198.900
Custo com reposição de água e tratamento químico AC	R\$916.200	R\$1.409.507
CUSTO OPERACIONAL TOTAL	R\$13.090.463	R\$10.829.184
ECONOMIA OPERACIONAL	REFERÊNCIA	R\$2.261.279
		17%

O gráfico 03 compara de forma ilustrativa os custos operacionais anuais do sistema convencional versus o sistema em cogeração

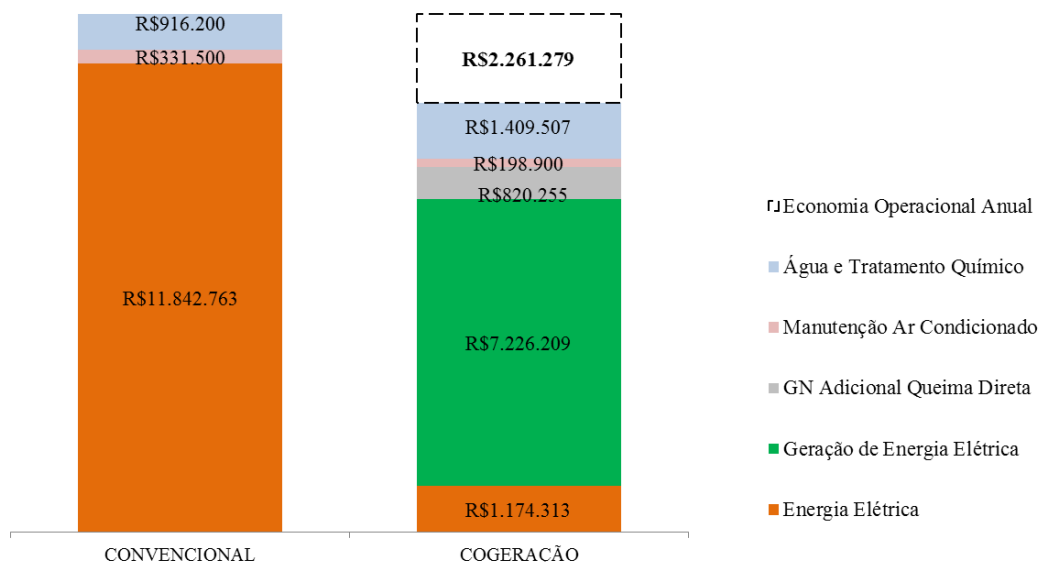


Gráfico 03 – Gráfico dos custos operacionais do sistema convencional versus a cogeração.

A tabela 19 compara os custos de investimento para o sistema em cogeração e o PAYBACK simples com o sistema convencional.

Tabela 19 – Cálculo do investimento no estudo de caso *Shopping Center*

INVESTIMENTOS	CONVENCIONAL	COGERAÇÃO
Aquisição dos Resfriadores de Líquido	-	R\$5.670.860
Instalação dos Resfriadores de Líquido	-	R\$2.873.000
Bombas de condensação e torre	-	R\$221.000
Investimento em Substação de EE da CAG	-	-
Aquisição de Geradores	-	R\$9.127.950
Instalação de Geradores	-	R\$7.489.600
Trocador de calor	-	R\$506.810
Rede de gás	-	R\$250.000
INVESTIMENTO TOTAL	R\$0	R\$26.139.220
IVESTIMENTO ADICIONAL		R\$26.139.220
PAYBACK SIMPLES (anos)		11,6

A tabela 20 apontam os cálculos de valor presente líquido, Payback descontado, Payback simples e a taxa interna de retorno.

Tabela 20 – Cálculo do VPL e TIR no estudo de caso *Shopping Center*

Resultado Financeiro	
Payback simples	11,6 anos
Payback Descontado	24,5 anos
VPL	R\$ 212.785
TIR	7,1%

$$VP = \frac{VF}{(1 + i)^n}$$

A tabela 21 demonstram os parâmetros financeiros aplicados neste estudo de caso, são apontados os valores de investimento, o fluxo de caixa diante da economia anual dos custos da comparação entre a cogeração com a convencional e a taxa de desconto financeira, que no caso específico deste estudo de caso esta usando credito subsidiado em parceria com LIGHT-ESCO que dispõe de linha de créditos para investimento em eficiência energética.

Tabela 21 – Cálculo dos parâmetros financeiros no estudo de caso *Shopping Center*

Parâmetros Financeiros

Inv. Inicial Adicional	-R\$ 26.139.220	Ilo
Fluxo de Caixa	R\$ 2.261.279	FLC
Taxa de desconto	7%	r
Período (anos)	26	n

Ano	FLC	FLCD	FLCA
0	-26.139.220	-26.139.220	-26.139.220
1	2.261.279	2.113.345	-24.025.875
2	2.261.279	1.975.089	-22.050.786
3	2.261.279	1.845.877	-20.204.909
4	2.261.279	1.725.119	-18.479.790
5	2.261.279	1.612.261	-16.867.529
6	2.261.279	1.506.786	-15.360.743
7	2.261.279	1.408.211	-13.952.532
8	2.261.279	1.316.085	-12.636.447
9	2.261.279	1.229.986	-11.406.461
10	2.261.279	1.149.520	-10.256.941
11	2.261.279	1.074.317	-9.182.624
12	2.261.279	1.004.035	-8.178.589
13	2.261.279	938.350	-7.240.238
14	2.261.279	876.963	-6.363.275
15	2.261.279	819.592	-5.543.684
16	2.261.279	765.973	-4.777.710
17	2.261.279	715.863	-4.061.847
18	2.261.279	669.031	-3.392.816
19	2.261.279	625.263	-2.767.554
20	2.261.279	584.358	-2.183.196
21	2.261.279	546.129	-1.637.068
22	2.261.279	510.400	-1.126.667
23	2.261.279	477.010	-649.657
24	2.261.279	445.804	-203.854
25	2.261.279	416.639	212.785
26	2.261.279	389.382	602.167

O gráfico 04 trata-se do fluxo de caixa descontado, baseado nos cálculos da tabela 20.

Fluxo de Caixa Descontado

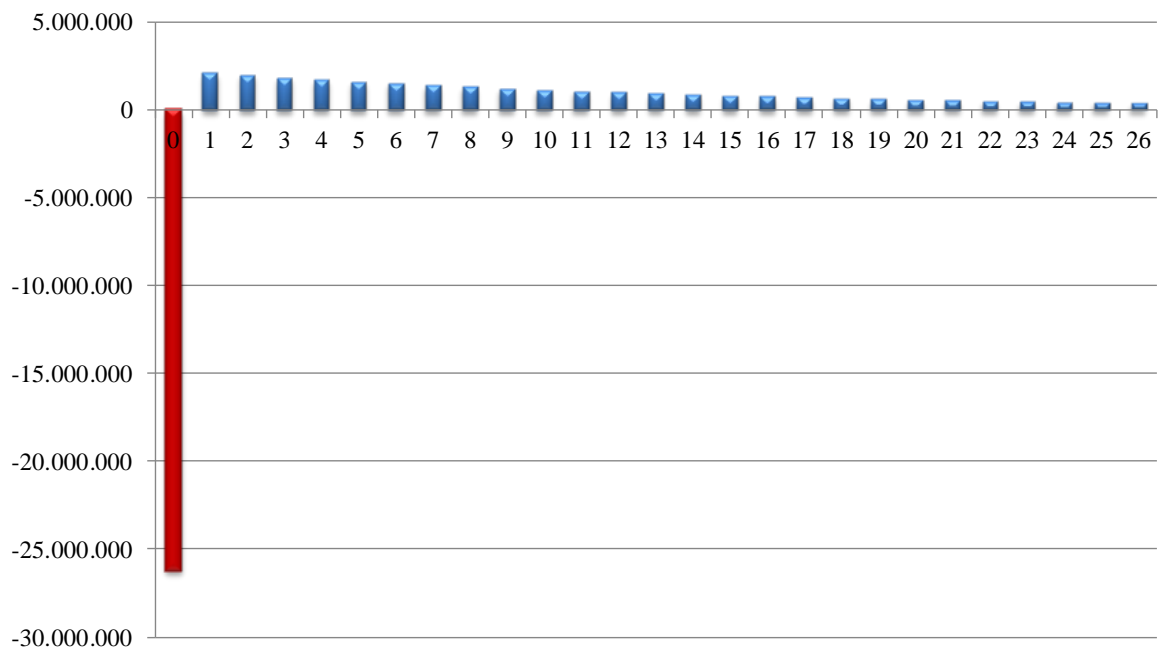


Gráfico 04 – Gráfico do fluxo de caixa descontado no estudo de caso

O gráfico 05 trata-se do fluxo de caixa acumulado, baseado nos cálculos da tabela 20.

Fluxo de Caixa Acumulado

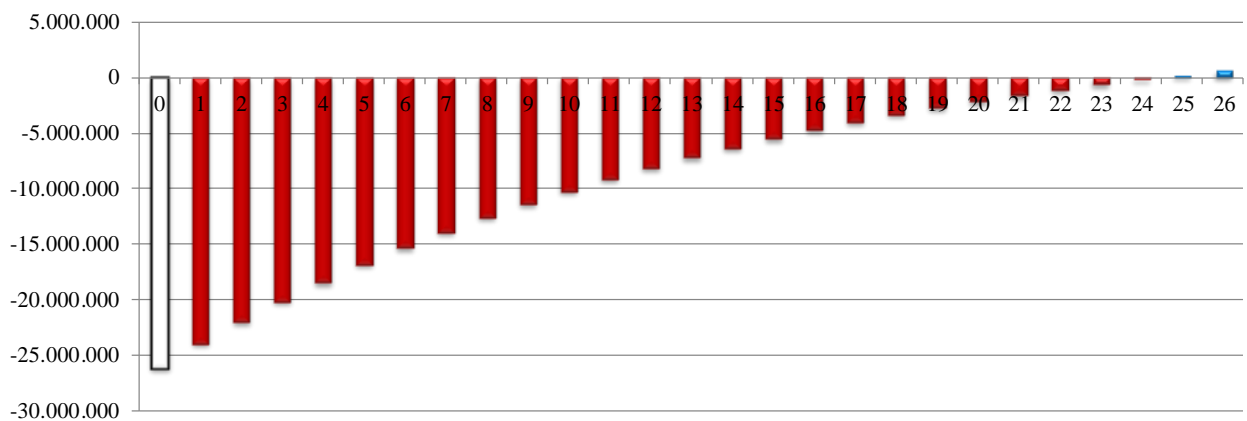


Gráfico 05 – Gráfico do fluxo de caixa acumulado no estudo de caso;

Considerações sobre o estudo de caso

Conforme demonstrado no memorial de cálculo e no resultado financeiro, em termos de cálculo em função de parâmetros técnicos e *datas sheets* dos equipamentos, a cogeração em um *Shopping Center* já operacional é “viável”. Desde que sejam levadas as seguintes considerações:

- Estão sendo substituídos os *Chillers* e ajuste e alguns equipamentos existentes;
- A taxa de desconto financeira não poderá ser superior a 7%, ou seja, , deverá ser um crédito subsidiado;
- O período financeiro é longo, ou seja, em um payback simples teremos um retorno em 11,6 anos e um payback descontado em torno de 24,5 anos.
- Deverá ser levado em consideração que alguns equipamentos deverão sofrer *retrofit* entre este período devido ao seu uso. E, este tipo de custo não está sendo considerado nesta análise, logo os paybacks acima descritos poderão sofrer alterações;

Contudo há uma série de itens que deverão ser muito favoráveis para que o empreendedor invista em um sistema de cogeração com um PAYBACK simples de no mínimo 11,6 anos e que seja satisfatório visto ao grau de investimento versus manutenção versus operação.

Devemos considerar que, especificamente no *Shopping* estudado, possuímos uma configuração de um tanque de termo acumulação que nos permite trabalhar com a planta de cogeração de forma ininterrupta, 24hrs, maximizando a eficiência da cogeração e tornando este projeto diferenciado dos demais *Shopping* existente em termos de viabilização.

Ao analisarmos os custos de energia elétrica em 2013 em relação a 2016, o mesmo dobrou o seu valor, mesmo sendo em mercado livre, se considerarmos este custo em cativo AES Eletropaulo, podemos dizer que este valor será bem

superior. Do mesmo modo, quando verificamos os custos de gás natural onde “2011 o custo era R\$ 0,91 m³” (ANDREOS 2013), e atualmente o custo esta em R\$ 1,135 m³ (em cogeração), ou seja, um aumento de apenas 19,82% em 5 anos.

Portanto mesmo com toda esta diferença de custos ao longo do tempo, posso concluir, que neste caso uma cogeração em um *Shopping* já operacional, onde não temos todas as variáveis apontadas acima, torna-se inviável a pratica da cogeração sob a ótica do investimento.

Alternativa para viabilização

Uma alternativa para viabilização de sistemas de cogeração em *Shopping Center* já existente seria a possibilidade de venda da energia na rede com um produtor onde o preço poderia ser homologado junto a ANEEL.

O *Shopping Centers*, em sua grande maioria, está locado em grandes centros comerciais e em sua maioria em edificações mistas ou até mesmos vizinhos próximos a hotéis, prédios comerciais, centro de convenções, hospitais, avenidas comerciais. Enfim, o *Shopping Center* possui área e o empreendedor dispõe de condições financeiras de proporcionar aporte para construção de usinas que poderão produzir energia elétrica com o uso de fontes “renováveis como o gás natural”, em grandes centros e com a possibilidade de gerar, através da cogeração, energia elétrica e energia térmica a partir de um único combustível.

Com a implantação do *Smart grid*, poderemos tornas o seguimento *Shopping Center*, não só um centro de compras, ou um centro de entretenimento, ou um centro de serviços e sim um centro misto de serviços diversos além de fonte geradora de energia que será essencial para utilização no sistema junto ao operador nacional do sistema (ONS).

Alternativa para implementação de fontes renováveis no setor terciário

Uma alternativa para implementação de fontes renováveis em *Shopping Center* seria a instalação de placas solares fotovoltaicas no telhado do empreendimento e/ou como cobertura para o estacionamento de veículos.

Atualmente há empresas que dispõe de equipe técnica e linha de créditos subsidiadas junto a bancos privados e públicos que visam buscar alternativas de implementação de geração desta fonte de energia limpa.

A resolução normativa aprovada pela ANEEL 481 e 482 de 17/04/2012 as micro usinas podem gerar economia ou lucros através do sistema de compensação energético e as instalações podem ser divulgadas em material de marketing onde cobertura fotovoltaica é imediatamente percebida pelos consumidores como um sinal muito claro e visível do compromisso da sua empresa com a proteção ao meio ambiente. Energyteambrasil (2012).

A Figura 34 apresenta a instalação de placas fotovoltaicas instaladas no estacionamento de veículos em um Shopping Center.



Figura 34 – Foto da cobertura de veículos e placas fotovoltaicas no estacionamento de Shopping Center. Plaza Shopping Recife (2016).

A Figura 35 apresenta a instalação de placas fotovoltaicas instaladas na cobertura de um empreendimento que server com exemplo para instalações em Shopping Center.



Figura 35 – Foto da cobertura de um empreendimento e placas fotovoltaicas. Energyteambrasil (2012).

6. CONCLUSÃO

Cogeração por definição: é transformação de um único combustível, através de um processo de geração, em 2 tipos de energia distinta sendo uma energia elétrica com o uso de geradores e outra energia térmica, através de recuperadores de calor.

O ciclo *Topping* é o ciclo térmico que prioriza a geração de energia elétrica, equipamentos tipo motogeradores voltados para produção de energia e despreza os valores referentes à energia térmica. Já o ciclo *Bottoming* é o ciclo que prioriza

a geração de energia térmica, equipamentos tipo turbinas mais utilizados em indústria que necessitam de produção de vapores para processos.

Os equipamentos mais usuais na geração de energia elétrica e energia térmica são: motores a combustão interna, micro turbinas a gás, turbinas a vapor, motores *Stirling*, Ciclo Orgânico *Rankine*, Células Combustível e resfriadores líquidos por absorção.

As configurações básicas para aplicação de cogeração são: energia elétrica e água gelada; energia elétrica e água quente; energia elétrica, vapor e água quente; e energia elétrica, água gelada e água quente. Estas configurações dependerão da aplicação e do uso da edificação na qual é possível implementar a cogeração. Por exemplo: em um hospital é possível o emprego da cogeração para a energia elétrica, água quente e água fria. Para um hotel, é possível o emprego das mesmas três energias. Para o setor terciário, particularmente *Shopping Center*, o usual será o emprego de cogeração sendo Energia elétrica para operação e Água gelada para conforto térmico.

O seguimento terciário, particularmente *Shopping Center*, que em 10 anos aumentou 40% somente no Brasil, cujo seu principal conceito é um centro de entretenimento e serviço para o público, no qual marcar através de seu marketing tanto através de meios de comunicação quanto em disposição de produtos nas vitrines, ditam tendência e moda acerca de peças e/ou utensílios de uso por todos ou parte da população que se deslocam a estes grandes centros para efetuarem as compras.

Toda e qualquer implantação de um centro comercial tipo *Shopping Center*, deverá obedecer algumas “regras” conceitos para uma melhor disposição de suas lojas e vazão de seu público interno ao estabelecimento. Em muitos casos, no momento da concepção de um *Shopping Center*, são alocadas inicialmente as lojas âncoras e de lazer (que são lojas acima de 1.000m² de Área Bruta Locação) além da Praça de alimentação (lojas com 500m² de Área Bruta Locação) por

serem lojas de destino, em seguida as demais lojas sendo as Mega lojas (de 500 à 999m² de Área Bruta Locação) e por fim Satélites/Serviços (Até 500m² de Área Bruta Locação). Desta forma são definidos os *Tenant Mix* em grande maioria nos grandes centros comerciais tipo *Shopping Center*.

7. CONCLUSÃO 2

Para um cenário futuro no qual o mercado tende a se recuperar de uma crise, visto que se trata de um ciclo já visto anteriormente, o questionamento que deverá ser feito é se teremos energia elétrica para o uso fruto de todos, sendo na indústria, serviços e residências.

Tendo esta premissa como start inicial e a possível utilização de grandes centros comerciais tipo *Shopping Center* para a instalação de sistemas em cogeração, que utilizam uma fonte de combustível e através de processos geram 2 ou mais energias sendo elétrica e térmica, tornou atrativo os questionamentos, os levantamentos de dados e linhas de raciocínio a respeito da problemática que envolve a questão energética que beira nosso futuro.

Foi utilizado um *Shopping* cujos dados operacionais são reais e atuais, ano 2015, e foram imputados em uma planilha no qual foi possível descrever todos os custos operações no que tange as questões energéticas tanto na parte elétrica quanto no sistema de ar condicionado. Munido destes dados foi sugerido um sistema de cogeração onde seria utilizado gás natural para o processo e obteríamos energia elétrica através de motogeradores e água gelada através de recuperadores de calor e *Chillers* de absorção.

O *Shopping Center* em questão passou por uma implantação a 3 anos, de projetos que visavam à eficiência energética e neste conceito, foram implantados sistemas de automação, *fan coils* de tratamento de ar exterior com estudos de entalpias, sequenciamento dos *Chillers*, além de um tanque de termo acumulação que com um volume de 3.500,00m³ permite uma autonomia ao *Shopping* de

11.000,00TR (Toneladas de refrigeração), e seu descarregamento no verão com uma temperatura de 27°C é de 9 horas. Ou seja, este *Shopping*, já possui sistemas que facilitariam a implantação apenas de motogeradores e *Chillers* de Absorção por já possuírem toda uma automação já embarcada.

O resultado apesar de ser mostrar tecnicamente viável, mostrou-se financeiramente impraticável, visto que o *payback* foi longo além de taxas de descontos financeiros fora de nossa realidade atual. Podemos concluir que antes mesmo que o retorno financeiro do investimento acontecesse, seria necessário um *retrofit* no sistema e em resumo será inviável a troca dos sistemas de refrigeração existente para um sistema de cogeração.

Conforme apresentado nesta monografia, há outras alternativas para promover a implantação de fontes de geração de energia limpa no setor terciário. Uma dessas alternativas é a utilização de placas fotovoltaicas na cobertura do empreendimento e/ou estacionamento de veículos.

Proposta para um trabalho futuro.

Para que seja viável a implementação de um sistema de cogeração em um *Shopping Center* já existente, seria necessária uma mudança no trato com as energias resultantes do processo, ou seja, a venda tanto da energia elétrica na rede, através de um plano com incentivos a *Smart grid* pelo ONS (Operador Nacional do Sistema), quanto à venda da outra energia resultante como água gelada e/ou água quente. Uma vez que os *Shoppings Centers*, em sua grande maioria, estão localizados em grandes centros comerciais, ou em condomínios mistos, ou próximos a hospitais, ou próximos a hotéis. Enfim, a viabilização desta implementação, que contribuiria em um futuro próximo, com o atual sistema elétrico nacional seria a comercialização da produção obtida na cogeração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRASCE, **Associação Brasileira de *Shopping Center***. Acesso em: 05/2016<<http://www.portaldoshopping.com.br/>>.

ANDREOS, R. **Estudo de viabilidade técnico-econômica de pequenas centrais de cogeração a gás natural no setor terciário do Estado de São Paulo**. 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

ARSESP, **AGÊNCIA REGULADORA DE SANEAMENTO E ENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO**. 2016. DELIBERAÇÃO ARSESP Nº 648<<http://www.arsesp.sp.gov.br/LegislacaoArquivos/ldl6482016.pdf>>

BARJA, G. J. A. **A cogeração e sua inserção ao sistema elétrico**. 2006. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

BOYCE, M. P. **Handbook for Cogeneration and Combined Cycle Power Plants**. New York: ASME Press, 2002.

CATERPILLAR **ESPECIFICAÇÃO DE GRUPOS GERADORES A GÁS**. 2016<http://www.cat.com/pt_BR/products/new/power-systems/electric-power-generation/gas-generator-sets/18487627.html>

DOS SANTOS, G. G. **Lojas em *Shopping Center*. Análise de custo ocupacional com abordagem design Science referente à criação de artefato**, Bahia, 2012.

ENERGY TEAM BRASIL. **Apresentação de tecnologias para instalação de placas fotovoltaicas em *Shopping Center***, São Paulo, 2013.

GARREFA E MOSSLER, F. e F. R. F. **Dez princípios para pensar o Mall ou a manutenção do ciclo do lucro**. 2011. Artigo – Instituto de Geografia UFU. Uberlândia, Minas Gerais, 2011.

GIL C.F., ANA HELENA. ***Shopping Center* como estruturação dos desejos**. 2013.. (Mestrado) – Escola Técnica UFPR, São Paulo, 2013.

KEHLHOFER, R.H.; WARNER, J.; NIELSEN, H.; BACHMAN, R. **Combined-Cycle Gas & Steam Turbine Power Plant**. Oklahoma: PennWell Publishing Company, 1999.

LIZARRAGA, J.M.S. Cogeneración: **Aspectos Termodinámicos, Tecnológicos y Económicos**. Bilbao :Ed. Universidad del País Vasco, 1999.

MARTENS, A. **The energetic feasibility of CHP compared to the separate production of heat and power**, *Applied Thermal Engineering*, v.18, n.11, p.935-946, Nov. 1998.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2013**. Brasília: 2013.

PECE- ERG - 003 – **Apostila de cogeração**, – Ronaldo Andreos e Jose Simões, São Paulo 2015.

SOLER, ISAC. **Inserção da geração distribuída com gás natural em regiões metropolitanas**: Estudo de caso em bairros da região metropolitana de São Paulo (Monografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

TUMA Empresa **ESPECIFICAÇÃO DE PRODUTO Direct – Fired & Exhaust & Hot W. Chiller (BZHE)**. 2016 <http://www.empresastuma.com.br/broad/produtos/index_bzhe_dados.php>

WIKIPEDIA, **Ciclo Rankine** <https://pt.wikipedia.org/wiki/Ciclo_Rankine>

___Imagem turbinas. Arona, Marcelo , UEL
<<http://www.ebah.com.br/user/AAAAAgpmoAE/marcelo-aron>>

___Imagem cogeração
<<http://www.comgas.com.br/pt/comgasParaVoce/Industrial/Paginas/Cogeracao.aspx>>

___Imagem motor ciclo otto
<<http://escola.britannica.com.br/assembly/134581/Um-motor-de-combustao-interna-funciona-em-quatro-tempos-aspiracao>>

___Imagem placas solar em estacionamento do Plaza Shopping Recife 2016
<<http://www.plazacasaforte.com.br/o-shopping>>

___imagem micro turbinas (RIBEIRO, A.F. – 2011)
<<http://www.planetazul.pt/edicoes1/planetazul/desenvArtigo.aspx?c=2252&a=20247&r=37>>

___imagem motor stirling
<http://gemb-arhte.blogspot.com.br/2010_03_01_archive.html>

___Imagem tri-geração Papel da Cogeração no Mercado de Energia. Giovanni Ribeiro, Alterado 6 Há anos <<http://slideplayer.com.br/slide/1609436/>>