

RODRIGO FERREIRA DOS SANTOS

ESTUDO DE CASO DE COGERAÇÃO A GÁS NATURAL EM HOSPITAL

São Paulo
2015

RODRIGO FERREIRA DOS SANTOS

ESTUDO DE CASO DE COGERAÇÃO A GÁS NATURAL EM HOSPITAL

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Especialista
em Energias Renováveis, Geração
Distribuída e Eficiência Energética.

São Paulo
2015

RODRIGO FERREIRA DOS SANTOS

ESTUDO DE CASO DE COGERAÇÃO A GÁS NATURAL EM HOSPITAL

Monografia apresentada à 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, gás natural, cogeração, termodinâmica e geração distribuída.

Orientador: Prof. Msc. Ronaldo Andreos

São Paulo
2015

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo-na-publicação

Santos, Rodrigo
ESTUDO DE CASO DE COGERAÇÃO A GÁS NATURAL EM HOSPITAL /
R. Santos -- São Paulo, 2015.
72 p.

Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas.

1.Engenharia 2.Cogeração 3.Gás Natural 4.Setor terciário
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas II.t.

Dedico este trabalho à minha mãe Ana Lúcia Rodrigues pelo imenso amor e apoio que tenho recebido para continuar em meus estudos. Também o dedico à minha noiva Mere Angela da Silva pelo total apoio e compreensão por todo o tempo no qual me dediquei a este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao Sr. Deives Candido Rodrigues (Funcionário do Hospital Beneficência Portuguesa) pelo fornecimento dos dados para que o estudo de caso pudesse ser realizado.

Ao Professor Msc. Ronaldo Andreos, pelo tempo dedicado a me orientar e instruir da melhor forma possível.

“A mente que se abre a uma nova ideia
jamais voltará ao seu tamanho original.”

Albert Einstein

RESUMO

A partir da necessidade de aplicar novas formas de geração de energia elétrica, por conta da crise hídrica no qual o Brasil está sujeito, pesquisas estão surgindo a fim de atender esta demanda na área de energias renováveis. Uma forma encontrada para otimização dos recursos energéticos é o uso de cogeração, ou seja, a partir de uma fonte de energia primária, no caso gás natural, é possível gerar mais de um tipo de energia simultaneamente, de forma sequenciada. De modo geral, com o aumento da tarifação do gás natural ao longo dos anos e a repentina queda da tarifação da energia elétrica, o uso da cogeração tem encontrado barreiras pela inviabilidade econômica para sua instalação. De qualquer maneira, este trabalho foi feito com base em um estudo de instalação de um sistema de cogeração em um hospital de grande porte localizado na cidade de São Paulo - SP, no intuito de concluir se a instalação desta central é viável ou não. Os resultados mostraram que, neste caso estudado, não há viabilidade técnico-econômica na instalação da central de cogeração para produção de energia elétrica e água gelada tendo um tempo de retorno do investimento de 11,2 anos.

Palavras-chave: Engenharia. Cogeração. Gás Natural. Setor terciário.

ABSTRACT

From the need to apply new forms of power generation, due to the water crisis in which Brazil is subject, research is emerging to meet this demand in the area of renewable energy. Found a way to optimize energy resources is the use of cogeneration, ie, from a primary energy source, in this case natural gas, you can generate more than one type of energy simultaneously, a sequential manner. Generally, with increasing pricing of natural gas over the years and the sudden drop in pricing of electricity, the use of cogeneration have found barriers by economic impossibility for its installation. Either way, this work was based on a study of installing a cogeneration system in a large hospital located in São Paulo - SP, with the goal to complete the installation of this plant is viable or not. The results did not show that in this case study, there are technical and economic feasibility in the central installation of cogeneration for electricity production and cold water have a turnaround time of investment of 11.2 years.

Keywords: Engineering. CHP. Natural Gas. Tertiary sector.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Balanço energético de um sistema convencional e de um sistema de cogeração (Andreos, 2014)	3
Figura 2 – Ciclo Brayton com turbina a gás (Andreos, 2014)	5
Figura 3 – Turbina a gás (www.energy.siemens.com, 2015)	6
Figura 4 – Cogeração com turbina a vapor (Andreos, 2014)	7
Figura 5 – Ciclo Rankine com turbina a vapor (Andreos, 2014)	8
Figura 6 – Turbina a vapor (www.ge.com, 2015)	8
Figura 7 – MCI a ciclo Diesel (www.mahle-aftermarket.com, 2015)	10
Figura 8 – MCI a ciclo Otto (www.mahle-aftermarket.com, 2015)	11
Figura 9 – Motor de combustão interna a gás natural (www.stemac.com.br, 2015) ..	11
Figura 10 – Etapas do processo de absorção (Andreos, 2014)	15
Figura 11 – Chiller por absorção (www.johnsoncontrols.com, 2015)	15
Figura 12 – Geração simultânea de energia elétrica e água gelada – adaptada (Comgás, 2015)	18
Figura 13 – Geração simultânea de energia elétrica e água quente – adaptada (Comgás, 2015)	18
Figura 14 – Geração simultânea de energia elétrica, água quente e água gelada (Comgás, 2015)	19
Figura 15 – Geração simultânea de energia elétrica, vapor e água gelada (Light, 2015)	20
Figura 16 – Produção de açúcar no Brasil (Andreos, 2014)	23
Figura 17 – Termelétricas com cogeração - Percentual	32
Figura 18 – Potência instalada, em operação, para cogeração – Nacional (Cogen, 2015)	37
Figura 19 – Perfil de carga térmica da instalação – Operação diária	43
Figura 20 – Perfil de carga térmica anual da instalação	43
Figura 26 – Fluxograma proposto para a instalação	44
Figura 21 – Motor a combustão interna – Modelo: CG260-12 (Caterpillar, 2015)	45
Figura 22 – Chiller por absorção térmica – Modelo: 16LJ (Carrier, 2015)	46
Figura 23 – Histórico das bandeiras de tarifação – Nacional (ANEEL, 2015)	49
Figura 24 – Fluxo de caixa descontado	53
Figura 25 – Fluxo de caixa acumulado	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela comparativa entre μ TG e TG	6
Tabela 2 – Dados médios MCI Diesel e Gás Natural	11
Tabela 3 – Partes de um chiller de absorção térmica (adaptada)	12
Tabela 4 – Relação de parâmetros de equipamentos de geração distribuída (adaptada)	16
Tabela 5 – Relação entre PCS dos principais combustíveis	22
Tabela 6 – Composição do GN	25
Tabela 7 – Principais fabricantes	26
Tabela 8 – Fatores X e FC% - requisitos de qualificação.....	29
Tabela 9 – Segmentos do setor terciário com perfil para cogeração	31
Tabela 10 – Termelétricas com cogeração	32
Tabela 11 – Termelétricas com cogeração em construção não iniciada.....	33
Tabela 12 - Termelétricas com cogeração em construção.....	33
Tabela 13 - Termelétricas com cogeração em operação (apenas gás natural) - adaptada	34
Tabela 14 – Potencial de cogeração a gás natural – Segmento industrial.....	38
Tabela 15 – Potencial de cogeração a gás natural – Segmento terciário	38
Tabela 16 – Demanda de vapor da instalação	44
Tabela 17 – Características técnicas - MCI.....	45
Tabela 18 – Consumo de GN do MCI	47
Tabela 19 – Cálculo do balanço energético	47
Tabela 20 – Cálculo do fator de utilização de energia.....	47
Tabela 21 – Cálculo do requisito de qualificação de cogeração.....	48
Tabela 22 – Cálculo da tarifa de energia elétrica – sistema convencional	48
Tabela 23 – Cálculo da tarifa de energia elétrica – sistema de cogeração	48
Tabela 24 – Cálculo da tarifa de gás natural.....	50
Tabela 25 - Resultado do estudo de caso	50
Tabela 26 – Parâmetros financeiros.....	52
Tabela 27 - Resultado financeiro.....	52
Tabela 28 – Fluxo de caixa descontado e acumulado	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS	Resfriador de Líquido por Absorção
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ARSESP	Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo
BIG	Banco de Informações de Geração
COFINS	Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
COGEN	Associação da Indústria de Cogeração de Energia
COMGÁS	Companhia de Gás de São Paulo
FLC	Fluxo de Caixa
FLCA	Fluxo de Caixa Acumulado
FLCD	Fluxo de Caixa Descontado
FUE	Fator de Utilização de Energia
GN	Gás Natural
ICMS	Imposto de Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação
MCI	Motor a Combustão Interna
PASEP	Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior
PIS	Programa de Integração Social
SIN	Sistema Interligado Nacional
TG	Turbina a gás
TIR	Taxa Interna de Retorno

TV	Turbina a vapor
μTG	Microturbina a gás
VPL	Valor Presente Líquido

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

MW	Megawatt
MWe	Megawatt Elétrico
MPa	Mega Pascal
L/kWh	Litro por Quilowatt hora
m ³ /kWh	Metro cúbico por Quilowatt hora
kW	Quilowatt
MWh	Megawatt hora
LiBr	Brometo de Lítio
°C	Graus Celsius
atm	Pressão atmosférica
kWe	Quilowatt Elétrico
TRh	Toneladas de Refrigerante hora
ft ² /kW	Pé quadrado por Quilowatt
h	Horas
s	Segundos
PSI	Libra força por Polegada quadrada
NO _x	Óxido de Nitrogênio
lb/MWh	Libra por Megawatt hora
Btu/kWh	Unidade térmica britânica por Quilowatt hora
°F	Graus Fahrenheit
η_e	Eficiência Elétrica
E	Energia Elétrica gerada

PCI	Poder calorífico inferior do combustível
η_t	Eficiência Térmica
Q	Calor gerado
W	Trabalho
Q_u	Calor útil
m	Vazão mássica
H ₂	Hidrogênio
H ₂ O	Água
m ³	Metro cúbico
kg	Quilo grama
L	Litro
Et	Energia da utilidade de calor
Ef	Energia da fonte
X	Fator de ponderação
Ee	Energia da utilidade eletromecânica
Fc%	Fator de cogeração
kWh/h	Quilowatt hora por hora
m ³ /d	Metro cúbico por dia
TR	Tonelada de Refrigeração
kgf/cm ²	Quilo grama força por centímetro quadrado
kcal/kg	Quilo caloria por quilo grama
R\$	Reais

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. ESTADO DA ARTE	2
2.1. Conceito de cogeração	2
2.2. Equipamentos e tecnologias empregados	4
2.3. Configurações básicas e balanço energético	17
2.4. Fator de utilização de energia.....	20
2.5. Combustíveis aplicados	22
2.6. Principais fabricantes.....	26
3. COGERAÇÃO NO BRASIL	27
3.1. Legislação Brasileira.....	27
3.2. Segmentos aplicáveis	30
3.3. Base instalada	32
3.4. Potencial de mercado	36
3.5. Benefícios	39
3.6. Barreiras	41
4. ESTUDO DE CASO.....	41
4.1. Cálculo do consumo de gás natural no MCI	47
4.2. Cálculo do balanço energético.....	47
4.3. Cálculo do fator de utilização de energia.....	47
4.4. Cálculo do requisito de qualificação de cogeração	48
4.5. Cálculo da tarifa de energia elétrica	48
4.6. Cálculo da tarifa de gás natural	50
4.7. Resultado.....	50
4.8. Análise financeira	52
5. CONCLUSÃO.....	54
BIBLIOGRAFIA	55

1. Introdução

Objetivos

Os objetivos desta monografia é identificar uma oportunidade de implantação de uma planta de cogeração em um hospital de grande porte localizado na cidade de São Paulo, efetuando uma análise técnico-econômica para verificar a viabilidade desta implantação. Aproveitando a oportunidade em apresentar tecnologias e conceitos empregados atualmente no mercado de cogeração.

Motivação

A expectativa do aumento no preço da energia elétrica por parte das concessionárias em conjunto com o aumento da produção de gás natural no Brasil potencializa as oportunidades de aplicação de centrais de cogeração nos setores indústrias e terciários (hospitais, *shoppings centers*, etc) assim incentivando o uso da geração distribuída. Outro fator motivacional é o fato da instabilidade de fornecimento de energia elétrica por parte das hidroelétricas por conta da falta de água que o Brasil está enfrentando no atual momento.

Justificativas

A principal fonte de geração de energia elétrica do Brasil é através de usinas hidroelétricas, segundo dados colhidos no mês de Julho/15 no Banco de Informações de Geração (BIG) do site da ANEEL, um percentual que corresponde à, aproximadamente, 65 % de toda matriz de geração energética brasileira. Por conta da atual crise hídrica do Brasil, ainda segundo o BIG, as usinas termoeletricas são responsáveis por, aproximadamente, 29 % da geração de energia elétrica do país para poder compensar a falta das hidroelétricas. O uso das usinas termoeletricas faz com que a geração de energia elétrica se encareça por conta do combustível ser fóssil, em sua grande maioria, óleo diesel e carvão mineral, que são altamente prejudiciais ao meio ambiente por conta dos gases de exaustão e pela baixa eficiência dos equipamentos utilizados nas usinas termoeletricas.

Diante deste cenário, algumas medidas estão sendo tomadas a fim de melhorar a geração de energia elétrica do país, e estas medidas envolvem o uso de geração através de fontes renováveis, como exemplo, solar e eólica, e no aumento de capacidade de geração de energia através da cogeração utilizando o gás natural.

Indo de encontro à tendência mundial que consiste em instalação e operação de plantas de cogeração, há ótima oportunidade de aumento na demanda da necessidade da instalação de plantas de cogeração no Brasil por conta da expectativa de crescimento da produção de gás natural.

2. Estado da arte

2.1. Conceito de cogeração

Segue conceito de cogeração:

A cogeração corresponde à produção simultânea de diferentes formas de energia útil, como as energias eletromecânica e térmica, para suprir as necessidades de uma unidade de processo, seja ela do setor industrial, agrícola, terciário ou um sistema isolado, a partir da mesma fonte energética primária. (BALESTIERI, 2002, p.22)

Na cogeração pode-se obter até 85 % de eficiência em determinadas configurações, ou seja, considerando energia elétrica e térmica. Ao contrário da geração de energia elétrica a partir do gás natural, que por sua vez, possui uma eficiência de apenas 35 %, em média. Desta forma, há um aumento de 140 % de eficiência utilizando a cogeração de calor e energia elétrica ao invés da geração de energia elétrica. A figura abaixo mostra a taxa de aproveitamento dos dois sistemas:

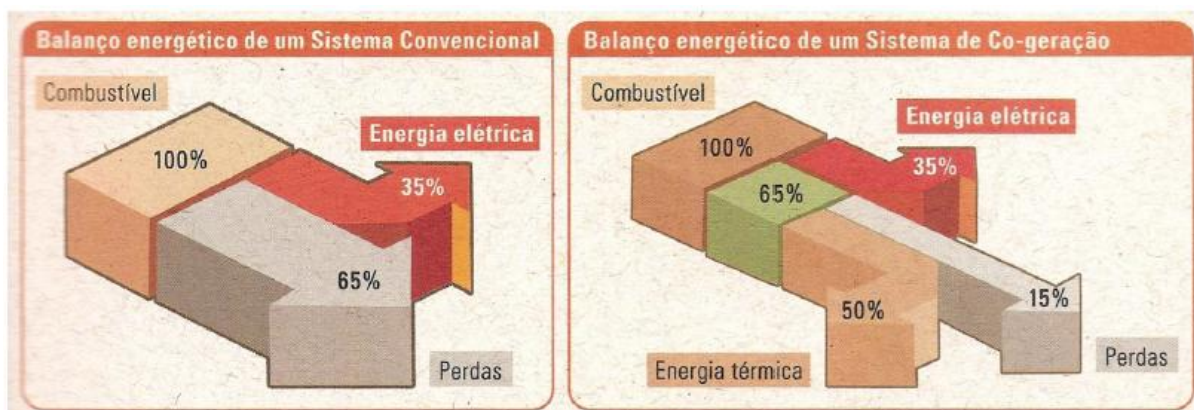


Figura 1 – Balanço energético de um sistema convencional e de um sistema de cogeração (Andreas, 2014)

Segundo Hodge (2010, p.206), “um sistema de cogeração combina a geração distribuída de energia com componentes termicamente ativados para satisfazer as necessidades de resfriamento, aquecimento e energia elétrica das edificações [...]”. No decorrer deste estudo, serão apresentados os equipamentos utilizados em uma usina de cogeração de energia.

Um sistema de cogeração possui dois tipos de classificação, esta que é determinada de acordo com a maior necessidade de demanda a ser atendida pela planta. Seus nomes são *topping cycle* e *bottoming cycle*.

Topping Cycle

Neste ciclo a planta de cogeração é dimensionada para atender, primeiramente, 100 % da demanda elétrica e através da energia residual, aproveita-se para geração de energia térmica. Este tipo de ciclo é altamente utilizado no setor terciário.

Bottoming Cycle

Neste ciclo a planta de cogeração é dimensionada para atender, primeiramente, 100 % da demanda térmica e através da energia residual, aproveita-se para geração de energia elétrica. Este tipo de ciclo é altamente utilizado no setor terciário.

2.2. Equipamentos e tecnologias empregados

Tomando como referência a documentação técnica dos principais fabricantes e distribuidores presentes no mercado brasileiro, foram separadas tecnologias dedicadas à cogeração de energia elétrica e térmica (calor e frio) de pequeno e médio porte visando o setor terciário. Segue relação dos equipamentos:

- Turbina a gás (TG)
- Microturbina a gás (μ TG)
- Turbina a vapor (TV)
- Motor a combustão interna (MCI)
- Resfriador de líquido por absorção (ABS)

Turbina a gás (TG) e Microturbina a gás (μTG)

A TG é uma fonte de acionamento mecânico do compressor e gerador elétrico. Uma turbina a gás consiste de um compressor com sua respectiva seção de entrada de ar, um sistema de combustão e uma turbina de expansão associada a seção dos gases de escape.

A turbina a gás opera no ciclo Brayton, e neste equipamento, o ar entra no compressor, este que o transfere para a câmara de combustão, onde o combustível é consumido (queimado) de forma contínua sob pressão constante. Os gases aquecidos são expandidos na turbina que, além de acionar o compressor, também gera potência mecânica, utilizável em um gerador, por exemplo.

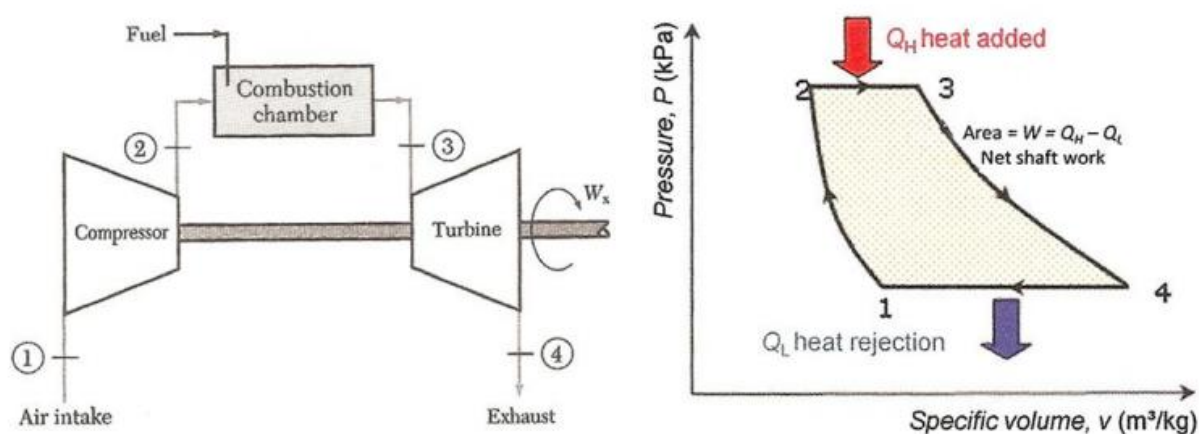


Figura 2 – Ciclo Brayton com turbina a gás (Andreos, 2014)

Esta tecnologia melhor atende as aplicações que operam por 24 horas, pois seu tempo de inicialização é de dez minutos à uma hora. Outro fator que auxilia no uso da TG é o fato do baixo custo de investimento para ciclo simples.

A μTG possui as mesmas características de funcionamento da TG, porém, de menor escala.

Segue tabela considerando as faixas de potência entre a TG e μ TG:

Tabela 1 – Tabela comparativa entre μ TG e TG

Equipamento	Faixa de potência
Microturbina a gás	250 kW – 2500 kW
Turbina a gás	3000 kW – 200000 kW

Fonte: Hodge (2010)

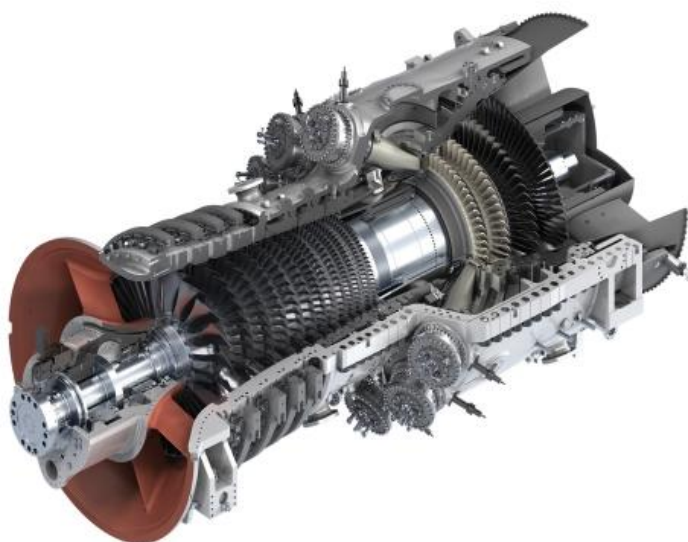


Figura 3 – Turbina a gás (www.energy.siemens.com, 2015)

Turbina a vapor (TV)

As TV's são equipamentos geradores de energia elétrica mais utilizados em indústrias e plantas térmicas. Elas trabalham no ciclo Rankine por conta de serem utilizadas com utilidade para geração de vapor, e devido o fato de trabalharem com combustão externa, podem utilizar uma gama muito grande de combustíveis, inclusive sólidos como biomassa, carvão e outros. Suas capacidades de potência variam de 0,3 MWe – 150 MWe.

As turbinas a vapor são classificadas da seguinte maneira:

Turbinas de contrapressão pura: Fornecem a mesma vazão de vapor recebida para os trocadores de calor localizados à jusante da turbina, submetendo-o a uma

expansão desde a condição inicial, ou seja, alta pressão até níveis da ordem de 0,2 a 1,0 MPa.

Turbinas de condensação e extração: Recebem o vapor de alta pressão de um ou mais pontos entre a admissão e a descarga. A partir deste ponto, extraí-se vapor de processo com pressão controlada conforme necessidade do processo, sendo que, o restante é expandido até a pressão do condensador entre valores de 0,005 e 0,01 MPa.

As turbinas de contrapressão são recomendadas nos processos industriais cuja demanda por calor de processo é aproximadamente a mesma demanda por energia elétrica. Neste tipo de equipamento, há uma regulação que mantém a pressão do vapor constante antes da turbina, resultando assim a potência elétrica variável em relação ao consumo de vapor do processo. Na TV de contrapressão o ciclo pode ser aberto e o vapor pode ser descarregado para a atmosfera ou ser aproveitado em processos industriais que demandem por energia térmica, este é o tipo de turbina mais simples e bastante utilizado em plantas de cogeração. Conforme imagem abaixo:

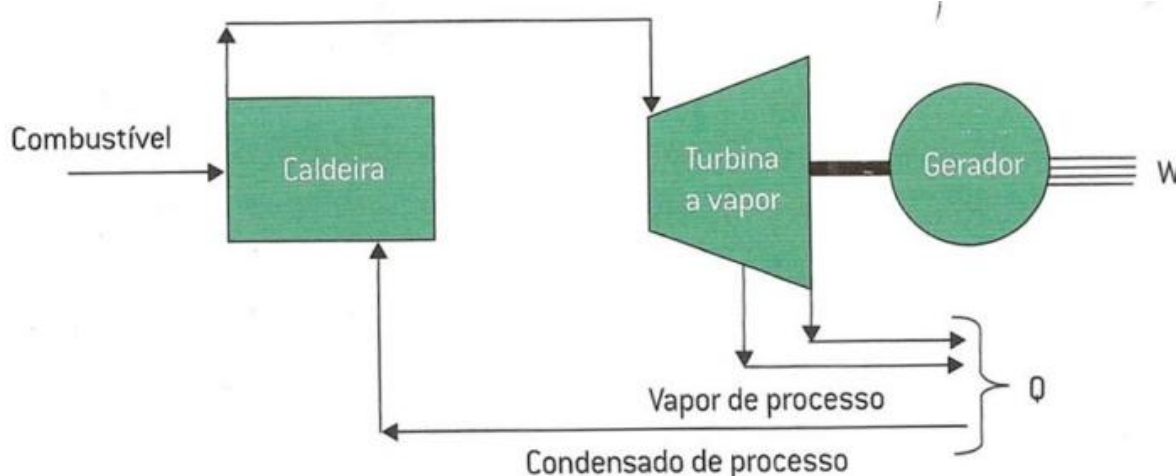


Figura 4 – Cogeração com turbina a vapor (Andreos, 2014)

A turbina de condensação e extração é utilizada em processos que a produção de energia elétrica é prioridade, ou seja, ciclo Topping. Isso ocorre por conta da diferença de entalpia ser mantida por mais tempo dentro do processo, isso comparado à turbina de contrapressão, pois a expansão nas turbinas de condensação se ocorre até com pressões vacuométricas. A TV de condensação e extração trabalha em ciclo fechado e, na sua concepção técnica, necessita de uma caldeira em que ocorre o aquecimento de água para geração de vapor. Pode-se utilizar qualquer tipo de combustível na forma de energia primária como o gás natural, etanol, óleo diesel, óleo combustível, carvão ou biomassa. O vapor gerado é transferido para a turbina que recebe a energia cinética do vapor em suas pás fazendo com que o eixo gire para produzir trabalho. Ao sair da turbina, o vapor perde calor por condensação alterando sua fase para líquida sendo bombeado novamente para a caldeira reiniciando o ciclo. A turbina a vapor pode produzir energia mecânica ou energia elétrica através de um gerador acoplado à ponta do eixo da turbina.

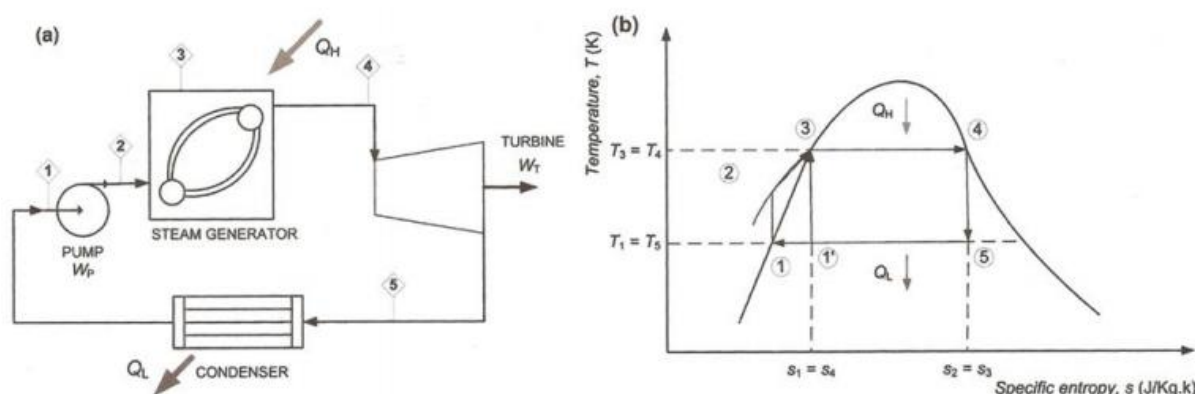


Figura 5 – Ciclo Rankine com turbina a vapor (Andreos, 2014)

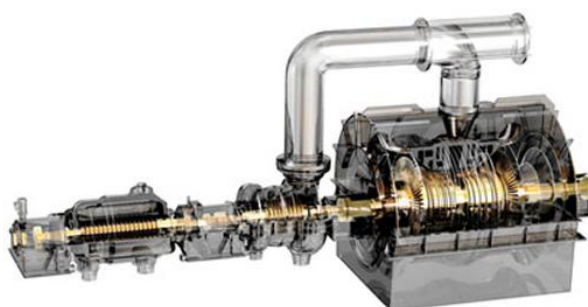


Figura 6 – Turbina a vapor (www.ge.com, 2015)

Motor a combustão interna (MCI)

Os grupos motogeradores são compostos por um motor a combustão interna (MCI), cujo objetivo é transformar energia térmica, através da queima de combustível, em energia mecânica diretamente utilizável. MCI podem operar nos seguintes ciclos:

Quatro tempos

1º tempo: Admissão da mistura combustível

2º tempo: Compressão da mistura

3º tempo: Explosão, expansão dos produtos de combustão e escape

4º tempo: Expulsão dos produtos de combustão

Dois tempos

1º tempo: Admissão da mistura e a compressão do combustível

2º tempo: Combustão, expansão e escape dos gases

O tipo de MCI que trabalha no ciclo Diesel pode ser alimentado por diversos tipos de combustíveis, tais como, óleo diesel, biodiesel ou óleo pesado.

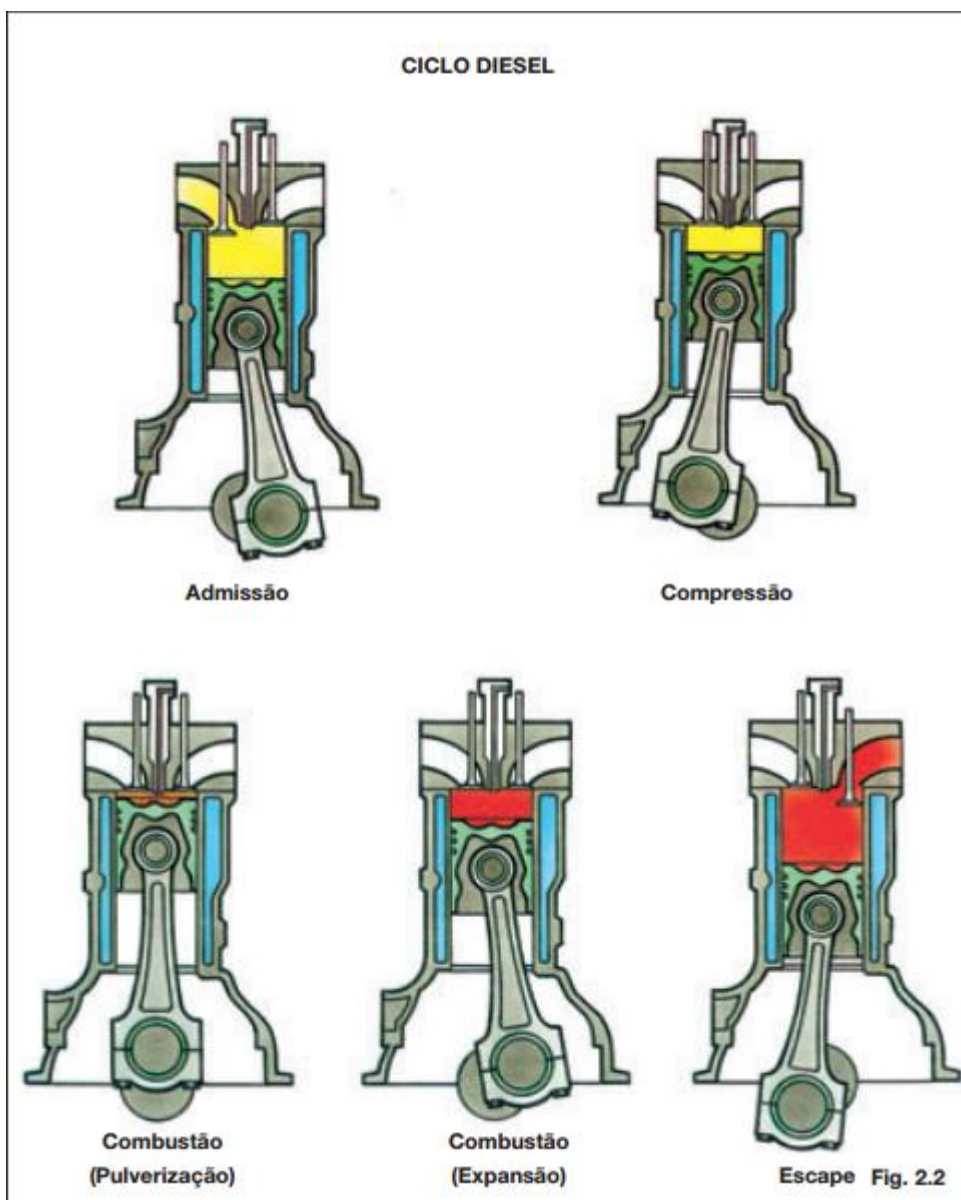


Figura 7 – MCI a ciclo Diesel (www.mahle-aftermarket.com, 2015)

O tipo de MCI que trabalha no ciclo Otto, pode ser alimentado por etanol, gás natural (GN) ou biogás. Sua ignição é realizada através de centelha, largamente utilizada em sistemas de cogeração por emitirem poluentes expressivamente menores que o ciclo Diesel.

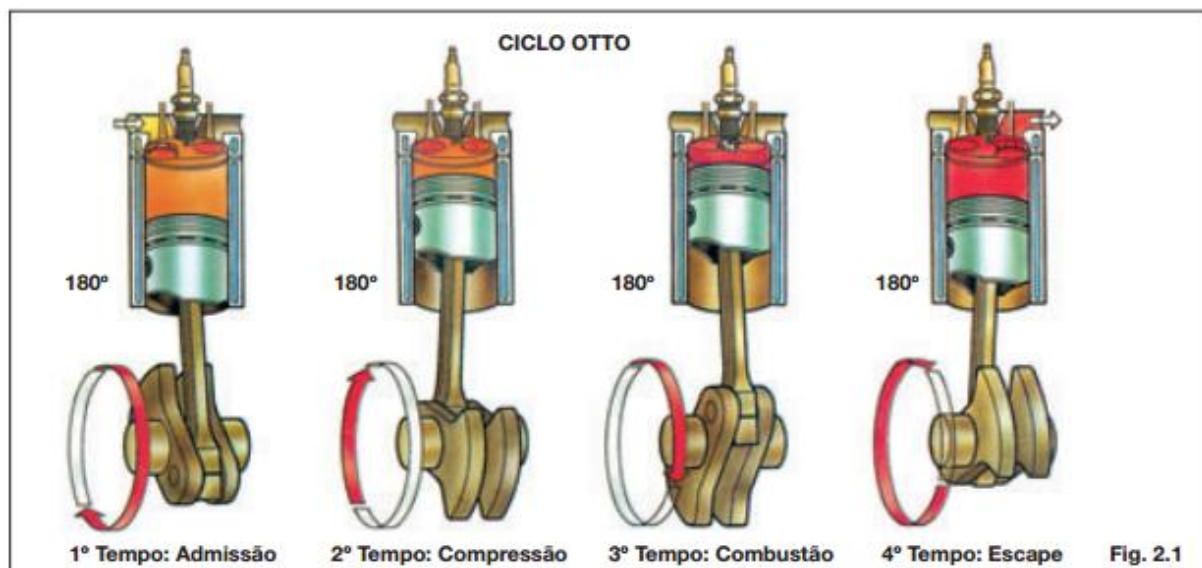


Figura 8 – MCI a ciclo Otto (www.mahle-aftermarket.com, 2015)

ABEGÁS (2012), citado por Andreos (2013), afirma que para efeito de estudo energético é recomendado adotar os valores referenciais da tabela abaixo:

Tabela 2 – Dados médios MCI Diesel e Gás Natural

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 m³/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

Fonte: Andreos (2013)



Figura 9 – Motor de combustão interna a gás natural (www.stemac.com.br, 2015)

Resfriador de líquido por absorção (ABS)

O resfriador de líquido por absorção produz água gelada, esta utilizada para climatização de ambientes. Ao contrário dos resfriadores de líquido convencionais que utilizam a energia elétrica com fonte primária, o ABS opera através do calor, este que é fornecido através de água quente, vapor de baixa e média pressão, gases quentes ou queima direta de combustível, operando em um ciclo por absorção com pressão interna relativa negativa.

Por conta de o ABS utilizar energia térmica de forma primária, ele acaba sendo utilizado em sistemas de cogeração em que haja demandas simultâneas de energia elétrica e água gelada para climatização. O calor rejeitado na geração de energia elétrica através dos motores de combustão interna é recuperado para alimentar o resfriador de líquido por absorção.

Segundo a Comgás (2015), em uma máquina de absorção existem duas substâncias: o refrigerante (água ou amônia) que realiza o ciclo de refrigeração completo, e o absorvente que altera a pressão de vapor do refrigerante. A máquina de absorção por brometo de lítio (LiBr) divide-se em quatro partes principais:

Tabela 3 – Partes de um chiller de absorção térmica (adaptada)

Parte	Descrição
Evaporador	É a seção com trocador de calor tubular onde se produzirá a evaporação da água (refrigerante), a uma temperatura de aproximadamente 3° C. O refrigerante absorve o calor latente da evaporação do sistema que se encontra no interior dos tubos, refrigerando e produzindo água até o limite mínimo de 4,5° C.
Absorvedor	No Absorvedor ocorre a absorção de vapor de água por parte da solução concentrada de LiBr
Gerador (concentrador)	No concentrador se produz a evaporação e, portanto, a separação da água na solução diluída de LiBr, ou seja, a concentração do sal. Isso ocorre com

	fonte de calor direta (fogo direto) ou indireta (água quente ou vapor).
Condensador	Neste trocador de calor se produz a condensação da água que se evaporou previamente no gerador. Esta água se pulverizará sobre os tubos do evaporador.

Fonte: www.comgas.com.br (2015)

Segundo a Comgás (2015), seguem as etapas de funcionamento do resfriador de líquido por absorção da tecnologia com brometo de lítio – água:

1. No evaporador, ocorre a pulverização do refrigerante (água desmineralizada), sobre os tubos do trocador de calor. A água que circula pelo interior dos tubos proporciona ao refrigerante a energia suficiente para que absorva o calor latente da evaporação, passando do estado líquido para o estado gasoso. Esta absorção de energia por parte do refrigerante provoca o resfriamento da água que se encontra no interior dos tubos.
2. A evaporação ocorre a uma pressão de, aproximadamente, 0,007 atm, que corresponde a uma temperatura de evaporação de 3 °C, conseguindo desta forma água gelada até o limite mínimo de 4,5 °C.
3. Sobre os tubos do trocador de calor do evaporador, se produz uma névoa de vapor de água que é necessário eliminar para que se siga a evaporação da água.
4. Debaixo do evaporador se encontra o absorvedor. Nele se produz a pulverização de LiBr concentrado (63 %), que absorve o vapor de água produzido no evaporador e se dilui. Esta reação de absorção é exotérmica, com a qual a solução diluída tende a aquecer-se e por isso necessita ser refrigerada para que continue produzindo, utilizando para este fim água proveniente das torres de resfriamento.
5. O LiBr diluído se deposita em uma bandeja de onde é captado por uma bomba sendo recalado para o gerador.
6. No gerador, a fonte de calor fornece à solução diluída de LiBr a quantidade de calor necessária para provocar a evaporação e, portanto, a separação do refrigerante contido no LiBr. O refrigerante em forma de vapor passa então ao condensador.

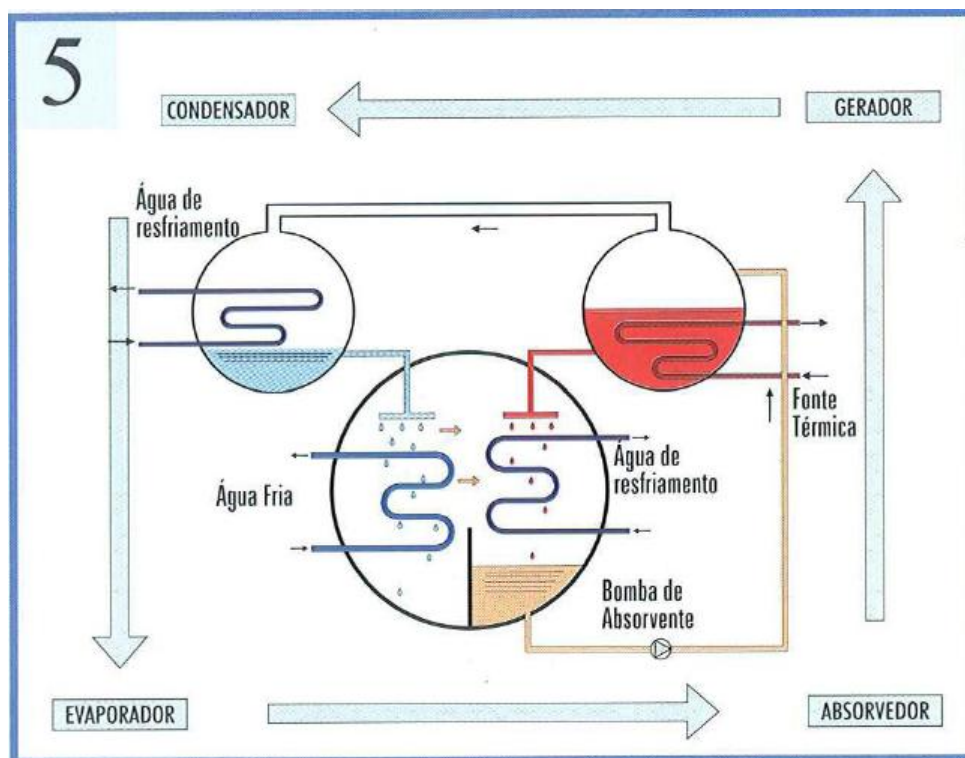


Figura 10 – Etapas do processo de absorção (Andreos, 2014)

Segundo Andreos (2013, p.17), “O *chiller* por absorção utiliza uma pequena parcela de energia elétrica, equivalente à 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”.



Figura 11 – Chiller por absorção (www.johnsoncontrols.com, 2015)

Resumo das principais tecnologias de geração distribuída

Baseando-se nas tecnologias de cogeração existentes, foi elaborada uma relação de seus principais parâmetros para utilização em uma planta de cogeração. Segue relação:

Tabela 4 – Relação de parâmetros de equipamentos de geração distribuída (adaptada)

	Motor a Diesel	Motor a Gás Natural	Turbina a Gás	Microturbina
Eficiência elétrica (%)	30-50	25-45	40-60	20-30
Potência de saída (MW)	0,05-5	0,05-5	3-200	0,025-0,25
Emissões (ft²/kW)	0,22	0,22-0,31	0,02-0,61	0,15-1,5
Disponibilidade (%)	90-95	92-97	90-98	90-98
Horas entre revisões (h)	25000-30000	24000-60000	30000-50000	5000-40000
Tempo de inicialização (s)	10	10	600-3600	60
Pressão do combustível (PSI)	<5	1-45	125-500 (necessita de compressor)	40-100 (necessita de compressor)
Combustíveis	Diesel/óleo residual	Gás natural/biogás/propano	Gás natural/biogás/propano/óleo destilado	Gás natural/biogás/propano/óleo destilado

Emissões de NO_x (lb/MWh)	3-33	2,2-28	0,3-4	0,4-2,2
Usos na recuperação de calor	Água quente/vapor LP/aquecimento urbano	Água quente/vapor LP/aquecimento urbano	Calor direto/água quente/vapor LP-HP/aquecimento urbano	Calor direto/água quente/vapor LP
Saída do ciclo combinado (Btu/kWh)	3400	1000-5000	3400-12000	4000-15000
Temperatura utilizável do ciclo combinado (°F)	180-900	300-500	500-1100	400-650

Fonte: Hodge (2010)

2.3. Configurações básicas e balanço energético

Basicamente, em função da necessidade dos processos, as configurações básicas de cogeração para o setor terciário são:

- Energia elétrica e água gelada
- Energia elétrica e água quente
- Energia elétrica, água gelada e água quente
- Energia elétrica, água gelada e vapor

Energia elétrica e água gelada

A geração simultânea de energia elétrica e água gelada é a configuração mais aplicável no setor terciário. Na figura abaixo, há um MCI, *topping cycle*, sendo abastecido com gás natural para geração de energia elétrica. O calor residual é recuperado e encaminhado para um ABS, este responsável pela geração de água gelada para a climatização dos ambientes.

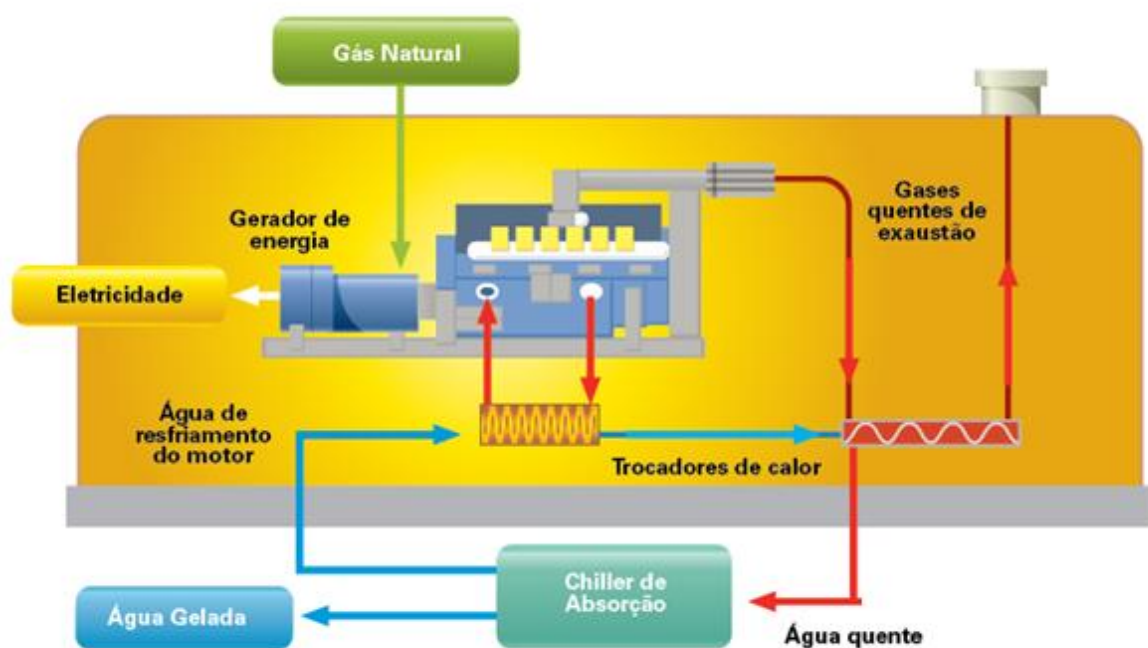


Figura 12 – Geração simultânea de energia elétrica e água gelada – adaptada (Comgás, 2015)

Energia elétrica e água quente

Na figura abaixo, há um MCI, *topping cycle*, sendo abastecido com gás natural para geração de energia elétrica. O calor residual é recuperado para produção de água quente.

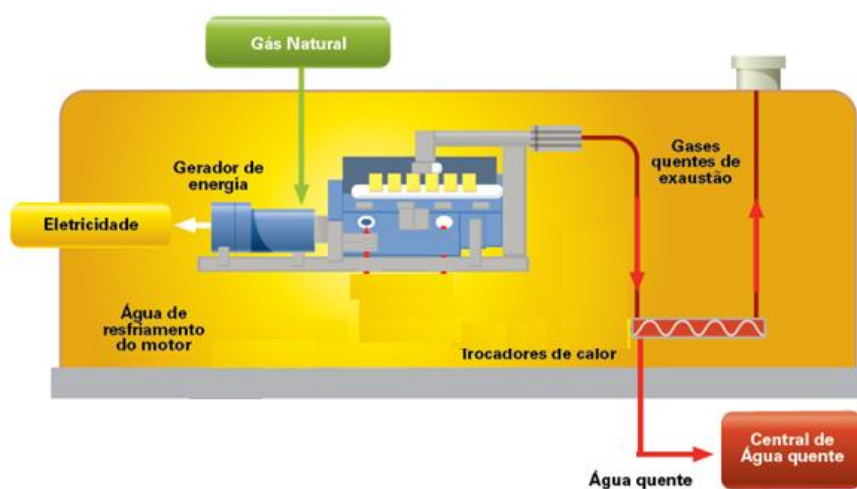


Figura 13 – Geração simultânea de energia elétrica e água quente – adaptada (Comgás, 2015)

Energia elétrica, água gelada e água quente

A produção simultânea e sequenciada de energia elétrica e energia térmica (de duas formas diferentes, por exemplo, quente e frio) também pode ser chamada de trigeração. Na figura abaixo, há um MCI, *topping cycle*, sendo abastecido com gás natural para geração de energia elétrica. O calor residual é recuperado e, parte dele, encaminhado para um ABS, este responsável pela geração de água gelada para a climatização dos ambientes e o restante do calor residual é também recuperado a fim de produção de água quente.

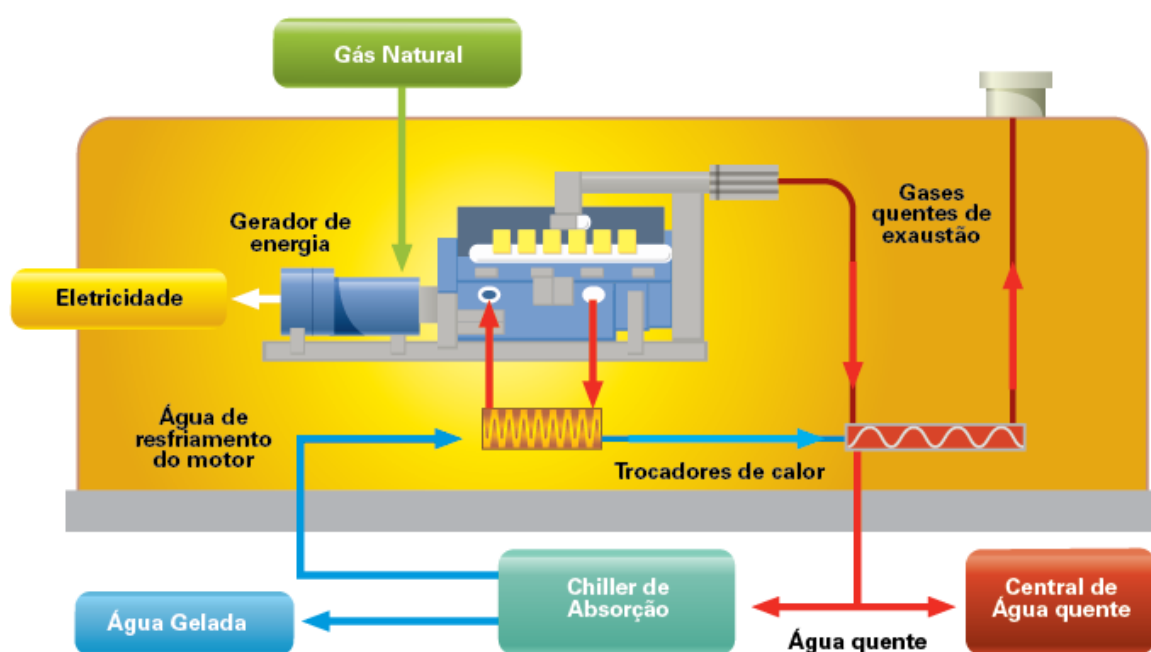


Figura 14 – Geração simultânea de energia elétrica, água quente e água gelada (Comgás, 2015)

Energia elétrica, água gelada e vapor

Na figura abaixo, há um MCI, *topping cycle*, sendo abastecido com gás natural para geração de energia elétrica. O calor residual é recuperado e, parte dele, encaminhado para um ABS, este responsável pela geração de água gelada para a climatização dos ambientes e o restante do calor residual é também recuperado a fim de produção vapor.

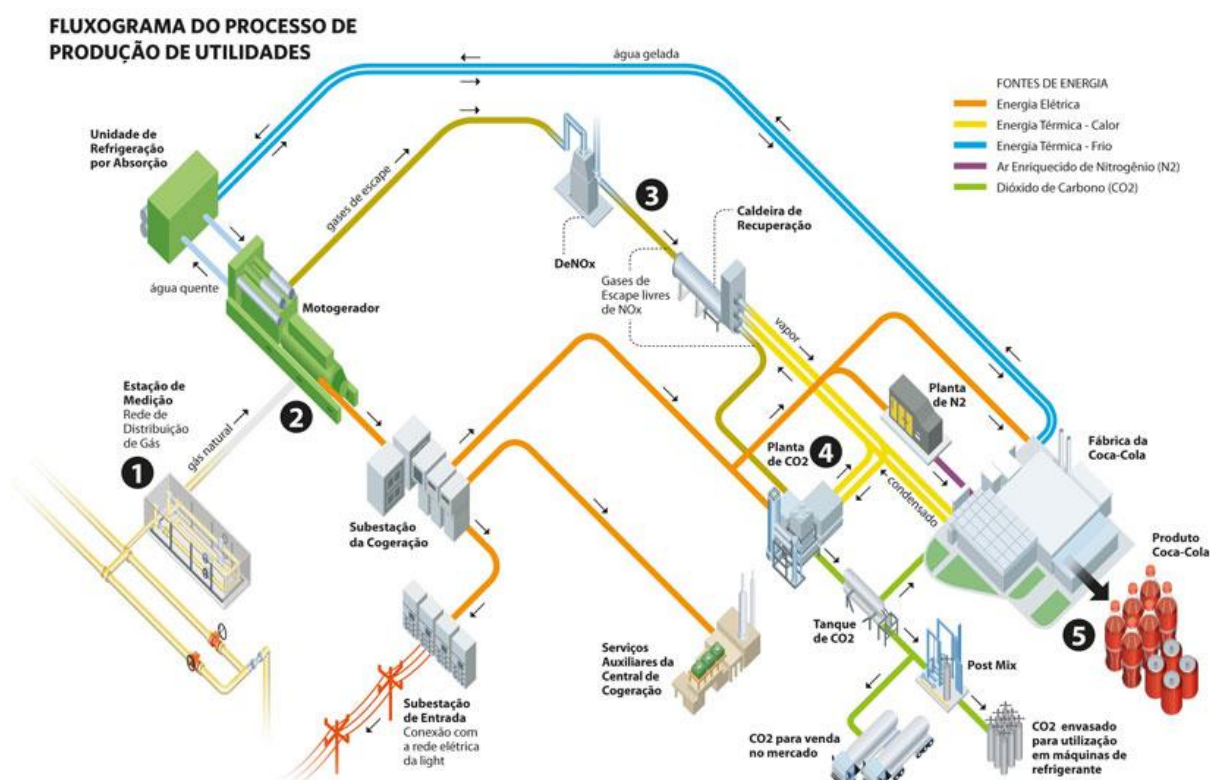


Figura 15 – Geração simultânea de energia elétrica, vapor e água gelada (Light, 2015)

2.4. Fator de utilização de energia

Segundo Martens (1998), O Fator de Utilização de Energia (FUE) define o percentual de energia do combustível utilizada na forma de produção de energia elétrica ou mecânica mais a energia térmica útil. Em termos de aproveitamento térmico, o objetivo principal é desenvolver uma configuração de cogeração em que o FUE se aproxime do ideal (100%). Em geral esse fator pode chegar a 85%.

A cogeração se caracteriza pela produção de energia térmica e elétrica através de um ciclo com rendimento global:

Rendimento elétrico:

$$\eta_e = \frac{E}{\dot{m} \cdot PCI} \quad (1)$$

Rendimento térmico:

$$\eta_t = \frac{Q}{\dot{m} \cdot PCI} \quad (2)$$

Rendimento global:

$$\eta_g = \frac{E + Q}{\dot{m} \cdot PCI} \quad (3)$$

Onde:

η = Rendimento

E = Energia elétrica gerada

Q = Calor gerado

PCI = Poder calorífico inferior do combustível (kJ/kg)

$\dot{m}$ = Vazão mássica de combustível (kg/s)

O aproveitamento de energia primária pode ser quantificado através da equação do Fator de Utilização de Energia (FUE):

$$FUE = \frac{\dot{W} + \dot{Q}_u}{\dot{m} \cdot PCI} \quad (4)$$

Onde:

$\dot{W}$ = Potência de eixo produzida pela máquina (kW)

$\dot{Q}_u$ = Taxa de calor útil produzido ou recuperado (kW)

PCI = Poder calorífico inferior do combustível (kJ/kg)

$\dot{m}$ = Vazão mássica de combustível (kg/s)

2.5. Combustíveis aplicados

Inicialmente, alguns conceitos devem ser detalhados para melhor entendimento do uso dos combustíveis para cogeração, tais como:

Poder Calorífico Superior (PCS): O PCS é o valor da soma da energia liberada na forma de calor + a energia gasta na vaporização (ou condensação) da água que se forma numa reação de oxidação (queima).

Poder Calorífico Inferior (PCI): O PCI é somente o valor da energia liberada na forma de calor numa reação de oxidação (queima), sem considerar a energia gasta na vaporização da água.

Quanto maior a quantidade de hidrogênio (H_2) ou umidade (H_2O) no combustível, maior será a diferença entre PCS e PCI.

Vários combustíveis podem ser utilizados em uma planta de cogeração. Estes podem ser sólidos, líquidos e gasosos. Segue uma tabela relacionando os principais combustíveis utilizados:

Tabela 5 – Relação entre PCS dos principais combustíveis

Combustível	Unidade de comercialização (UC)	Poder Calorífico Superior (PCS) por unidade de comercialização (kcal / UC)
Gás Natural	m ³	9.400
Biogás	m ³	5.000
Óleo Combustível B1	kg	10.161
Óleo Combustível A1	kg	10.073
Óleo Combustível A2	kg	10.035
Óleo Combustível 3A	kg	9.962
GLP	kg	11.800
Lenha	estéreo (m ³ empilhado)	1.287.000
Carvão (CE 6000)	kg	5.760
Carvão (CE 5200)	kg	4.992
Bagaço de Cana	kg	2.257
Querosene Iluminante	l	8.761
Óleo Diesel	l	9.159

Fonte: Andreos (2014)

Combustíveis sólidos

Segue relação dos combustíveis sólidos utilizados no processo de cogeração:

- Biomassa (bagaço e palha de cana-de-açúcar)
- Lenha
- Pallets de madeira
- Carvão

Possuem baixo custo unitário, pois normalmente, são resíduos de processo.

Na indústria, são utilizados para processos de cogeração no ciclo *Bottoming*, cuja produção de calor é prioridade sobre a produção de energia elétrica.

Há uma grande oportunidade de geração nas usinas de açúcar, pois geram muitos resíduos de biomassa.

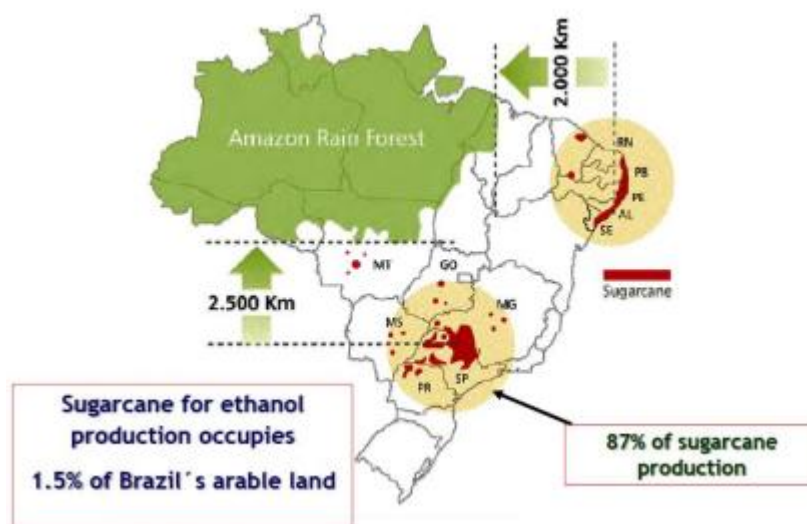


Figura 16 – Produção de açúcar no Brasil (Andreos, 2014)

Combustíveis líquidos

Os combustíveis líquidos, estes de origem fóssil, são gerados em função do processo de transformação do petróleo. O petróleo puro é aquecido a temperaturas

entre 300 °C e 370 °C para que se formem os vapores que, separados, condensam-se em diferentes temperaturas.

Segue relação dos combustíveis líquidos utilizados no processo de cogeração:

- Derivados de petróleo (óleo combustível, diesel) – Difícil viabilidade econômica.
- Biocombustíveis (etanol e biodiesel)
- Resíduos de processo (licor negro) – Alta viabilidade em ciclo *Bottoming*, cuja produção de calor é prioridade sobre a produção de energia elétrica.

Combustíveis gasosos

Segue relação dos combustíveis gasosos utilizados no processo de cogeração:

- Gás natural – grande viabilidade, mais usual.
- Biogás (em crescimento)
- Resíduo de processos (gás de coqueria, gás de alto forno, gás de refinaria, etc)

Os combustíveis gasosos apresentam maior diversidade de soluções, viabilidade técnica e econômica.

Gás natural

A seguir, a definição de gás natural:

o gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos leves que, à temperatura ambiente e pressão atmosférica, permanece no estado gasoso. Trata-se de um gás inodoro e incolor, não tóxico e mais leve que o ar. O gás natural é uma fonte de energia limpa que pode ser usada nas indústrias, substituindo outros combustíveis mais poluentes como óleos combustíveis, lenha e carvão. (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2015)

A tabela abaixo indica a composição do gás natural:

Tabela 6 – Composição do GN

Componente	GN de Campos	GN de Santos	GN da Bolívia
	% por Vol.	% por Vol.	% por Vol.
Metano (CH ₄)	89,35	88,321	91,800
Etano (C ₂ H ₆)	8,03	6,064	5,580
Propano (C ₃ H ₈)	0,78	3,073	0,970
Iso-Butano (C ₄ H ₁₀)	0,04	0,443	0,030
N-Butano (C ₄ H ₁₀)	0,03	0,784	0,020
Pentano (C ₅ H ₁₂)	0,01	0,273	0,100
Dióxido de carbono (CO ₂)	0,48	0,157	0,800
Nitrogênio (N ₂)	1,28	0,683	1,420

Fonte: Simões (2013)

2.6. Principais fabricantes

Tabela 7 – Principais fabricantes

Equipamento	Fabricante	Origem
Turbina a gás (TG)	Siemens	Alemanha
	General Electric	Estados Unidos da América
Microturbina a gás (μ TG)	Siemens	Alemanha
	General Electric	Estados Unidos da América
Turbina a vapor (TV)	Siemens	Alemanha
	General Electric	Estados Unidos da América
Motor a combustão interna (MCI)	Caterpillar	Estados Unidos da América
	Cummins	Estados Unidos da América
	General Electric	Estados Unidos da América
	Generac	Estados Unidos da América
	Yanmar	Japão
Resfriador de líquido por absorção (ABS)	Carrier	Estados Unidos da América
	York	Estados Unidos da América
	Broad	China
	LG	Coreia do Sul

3. Cogeração no Brasil

3.1. Legislação Brasileira

As principais leis brasileiras responsáveis pelo processo de certificação de uma central de cogeração serão indicadas abaixo:

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 de 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

Atualmente, a Agência Nacional de Energia Elétrica, tem como missão proporcionar condições favoráveis para que o mercado de energia elétrica se desenvolva com equilíbrio entre os agentes e em benefício da sociedade. Esta missão se torna possível através dos seguintes itens:

Resolução Normativa nº 390, de 15 de dezembro de 2009

Determina os requisitos mínimos à autorização para exploração e alteração da capacidade instalada de usinas termelétricas assim como de outras fontes alternativas de energia, estabelece os procedimentos para registro de centrais geradoras com capacidade instalada reduzida. Esta resolução foi desenvolvida para atualizar e complementar os procedimentos contidos nas normas anteriores. Entre outras funções, estabelece a necessidade da emissão da licença ambiental para início da operação da planta e revoga a resolução nº 112/99.

Centrais de cogeração qualificadas

Resolução nº 235, de 14 de novembro de 2006 – ANEEL

Estabelece os requisitos para a qualificação de centrais termelétricas cogradoras de energia e dá outras providências. A função desta resolução é estabelecer os requisitos de reconhecimento da qualificação de centrais cogradoras, com vistas a participação nas políticas de incentivo ao uso dos recursos energéticos. Esta resolução é válida tanto para pessoa física quanto pessoa jurídica.

Requisitos para qualificação

O artigo quarto da resolução 235/2006 diz que a central termelétrica cogradora, para fins de enquadramento na modalidade de “cogeração qualificada”, deverá atender os seguintes requisitos:

Estar regularizada perante a ANEEL, conforme o disposto na legislação específica e na Resolução nº 112, de 18 de maio de 1999

Preencher os requisitos mínimos de racionalidade energética, mediante o cumprimento das inequações a seguir:

$$\frac{Et}{Ef} \geq 15\% \quad (5)$$

$$\left(\frac{Et}{Ef}\right) \div X + \frac{Ee}{Ef} \geq Fc\% \quad (6)$$

Onde:

E_f (Energia da fonte): Energia recebida pela central termelétrica cogradora, 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 cogradora, no seu regime operativo médio, em kWh/h, em termos líquidos, ou seja,

descontando da energia bruta gerada o consumo em serviços auxiliares elétricos das centrais;

Et (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;

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.

Fc% (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 Exergética.

Tabela 8 – Fatores X e Fc% - requisitos de qualificação

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

Fonte: ANEEL (2006)

3.2. Segmentos aplicáveis

O consumo simultâneo de energia elétrica e energia térmica (água gelada, água quente ou vapor) pode ser encontrado em vários segmentos, tais como residencial, comercial (setor terciário), agrícola e industrial.

No setor industrial, há um grande potencial de instalação de uma planta de cogeração nos seguintes ramos de atuação:

- alimentos e bebidas
- cimento
- cerâmica
- têxtil
- serraria
- papel e celulose
- refino de petróleo
- siderurgia

A produção de papel e celulose gera grandes quantidades de resíduos aproveitáveis no processo de cogeração, tais como detritos de madeira e licor negro. Resíduos estes que servem como combustível em sistemas de cogeração, fazendo com que este segmento se torne praticamente autossuficiente em energia.

No setor terciário, a cogeração é viável nos seguintes segmentos:

- hospitais
- hotéis
- escolas e universidades
- prédios de escritórios ou de apartamentos
- casas
- *shopping centers*
- supermercados
- piscinas

Segundo Andreos (2013, p.76), “com base nos perfis operacionais de cada segmento do setor terciário analisado, foi elaborada a seguinte tabela na qual indica a melhor aplicabilidade de um sistema de cogeração de energia”.

Tabela 9 – Segmentos do setor terciário com perfil para cogeração

<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	-

Fonte: Andreos (2013)

Onde:

A: Alto

M: Médio

B: Baixo

:- Não se aplica

X: Aplicável

Baseado na tabela anterior nota-se que hospital, hotel e *data center* oferecem melhor aplicabilidade ao sistema de cogeração, pois os dois primeiros necessitam das três formas de energia já que o último tem uma alta demanda das duas formas de energia em que utiliza.

3.3. Base instalada

Segue relação das instalações qualificadas de cogeração no Brasil:

Tabela 10 – Termelétricas com cogeração

Termelétricas com Co-Geração			
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	%
Construção não iniciada	7	18.046	0,45
Construção	1	7.902	0,2
Operação	80	4.004.714	99,36
Total	88	4.030.662	100

Fonte: www.aneel.gov.br (2015)

Figura 17 – Termelétricas com cogeração - Percentual



Fonte: www.aneel.gov.br (2015)

Termelétricas com cogeração em construção não iniciada

Tabela 11 – Termelétricas com cogeração em construção não iniciada

USINAS do tipo UTE com Co-Geração Qualificada em Construção não iniciada				
Usina	Potência Outorgada (kW)	Proprietário	Município	Fonte Nivel 2
S. A. V. - Unisinos	4.600	100% para Associação Antônio Vieira	São Leopoldo - RS	Gás Natural
Praia da Costa	3.646	100% para Construtora Sá Cavalcanti Ltda	Vila Velha - ES	Gás Natural
Rio de Janeiro Refrescos Coca Cola	4.800	100% para Rio de Janeiro Refrescos Ltda	Rio de Janeiro - RJ	Gás Natural
Engevix-Blu 1	3.000	100% para Engevix Engenharia S/A	Blumenau - SC	Gás Natural
Bangu Shopping	1.300	100% para BSC Shopping Center S.A.	Rio de Janeiro - RJ	Gás Natural
CNH Urucumacua	300	80% para Central Administração e Participações S/S Ltda 20% para Rovema Energia S/A	Chupinguaia - RO	Óleo Diesel
CNH Izidolandia	400	80% para Central Administração e Participações S/S Ltda 20% para Rovema Energia S/A	Alto Alegre do Parecis - RO	Óleo Diesel
Potência Total: 18.046 kW				

Fonte: www.aneel.gov.br (2015)

Termelétricas com cogeração em construção

Tabela 12 - Termelétricas com cogeração em construção

USINAS do tipo UTE com Co-Geração Qualificada em Construção				
Usina	Potência Outorgada (kW)	Proprietário	Município	Fonte Nivel 2
Jaguariúna	7.902	100% para Companhia Brasileira de Bebidas	Jaguariúna - SP	Gás Natural
Potência Total: 7.902 kW				

Fonte: www.aneel.gov.br (2015)

Termelétricas com cogeração em operação (apenas gás natural)

Tabela 13 - Termelétricas com cogeração em operação (apenas gás natural) - adaptada

Usina	Potência Outorgada (kW)	Proprietário	Município	Fonte Nível 2
Camaçari	130.710	100% para BRASKEM S/A	Camaçari - BA	Gás Natural
Energy Works Kaiser Pacatuba	5.552	100% para Energyworks do Brasil Ltda	Pacatuba - CE	Gás Natural
Globo	5.160	100% para Infoglobo Comunicação e Participações S.A	Duque de Caxias - RJ	Gás Natural
Suape, CGDe, Koblitz Energia Ltda.	4.000	100% para SUAPE PP3E ENERGIA LTDA	Cabo de Santo Agostinho - PE	Gás Natural
Suzano	38.400	100% para Suzano Papel e Celulose S.A.	Suzano - SP	Gás Natural
Celpav IV	139.424	100% para Fibria Celulose S.A	Jacareí - SP	Gás Natural
Energy Works Kaiser Jacareí	8.592	100% para Energyworks do Brasil Ltda	Jacareí - SP	Gás Natural
Celso Furtado (Antiga Termobahia Fase I)	185.891	100% para Petróleo Brasileiro S/A	São Francisco do Conde - BA	Gás Natural
Brahma	13.080	100% para Energyworks do Brasil Ltda	Rio de Janeiro - RJ	Gás Natural
UGPU	7.700	100% para Air Liquide Brasil Ltda	Jundiaí - SP	Gás Natural
PROJAC Central Globo de Produção	4.950	100% para TV Globo Ltda	Rio de Janeiro - RJ	Gás Natural
Governador Leonel Brizola (Antiga TermoRio)	1.058.300	100% para Petróleo Brasileiro S/A	Duque de Caxias - RJ	Gás Natural
Rhodia Paulínia	12.098	100% para Rhodia - Poliamida e Especialidades Ltda	Paulínia - SP	Gás Natural
Iguatemi Fortaleza	4.794	100% para Condomínio Civil Shopping Center Iguatemi	Fortaleza - CE	Gás Natural
Cesar Park Business Hotel/Globenergy	2.100	100% para Inpar Construções e Empreendimentos Imobiliários Ltda	Guarulhos - SP	Gás Natural
Bayer	3.840	100% para Bayer S/A	São Paulo - SP	Gás Natural
Euzébio Rocha (Antiga Cubatão - CCBS)	249.900	100% para Petróleo Brasileiro S/A	Cubatão - SP	Gás Natural
CTE Fibra	8.812	100% para Vicunha Rayon Ltda	Americana - SP	Gás Natural
Iguatemi Bahia	8.316	100% para Condomínio Shopping da Bahia	Salvador - BA	Gás Natural
EnergyWorks Corn Products Mogi	30.775	100% para Energyworks do Brasil Ltda	Mogi Guaçu - SP	Gás Natural

EnergyWorks Corn Products Balsa	9.199	100% para Energyworks do Brasil Ltda	Balsa Nova - PR	Gás Natural
Shopping Taboão	3.355	100% para SDT 3 Centro Comercial Ltda	Taboão da Serra - SP	Gás Natural
Jesus Soares Pereira (Antiga Vale do Açú)	322.967	100% para Petróleo Brasileiro S/A	Alto do Rodrigues - RN	Gás Natural
Carioca Shopping	3.200	100% para Administradora Carioca de Shopping Centers S/C Ltda	Rio de Janeiro - RJ	Gás Natural
IGW/Service Energy	2.825	100% para IGW TRUST S.A.	São Paulo - SP	Gás Natural
Stepie Ulb	3.300	100% para Stepie Ulb S/A	Canoas - RS	Gás Natural
Eucatex	9.800	100% para Eucatex S/A Indústria e Comércio	Salto - SP	Gás Natural
Jacareí	10.500	100% para Companhia de Bebidas das Americas - AMBEV	Jacareí - SP	Gás Natural
Millennium	4.781	100% para Millennium Inorganic Chemicals do Brasil S/A	Camaçari - BA	Gás Natural
CENPES - Petrobrás	16.065	100% para Petróleo Brasileiro S/A	Rio de Janeiro - RJ	Gás Natural
Pamesa	4.072	100% para Pamesa do Brasil S/A	Cabo de Santo Agostinho - PE	Gás Natural
Imcopa	7.000	100% para Importação, Exportação e Indústria de Óleos Ltda	Araucária - PR	Gás Natural
Aeroporto de Maceió	790	100% para Petrobrás Distribuidora S/A	Maceió - AL	Gás Natural
Biancogrês	5.110	100% para Biancogrês Cerâmica S/A	Serra - ES	Gás Natural
Ahlstrom	1.300	100% para Ecogen Brasil Soluções Energéticas S.A.	Louveira - SP	Gás Natural
Shopping Interlagos	1.750	100% para Intermarcos Administradora Ltda.	São Paulo - SP	Gás Natural
Levorin	4.110	100% para Ecogen Brasil Soluções Energéticas S.A.	Guarulhos - SP	Gás Natural
Shopping Campo Grande	4.655	100% para Subcondomínio do Centro Comercial do Shopping Eldorado Campo Grande	Campo Grande - MS	Gás Natural
Shopping Center Vale	2.055	100% para Centervale Administração e Participações Ltda.	São Paulo - SP	Gás Natural
RJR	12.030	100% para Light Esco Prestação de Serviços S.A.	Rio de Janeiro - RJ	Gás Natural
Sistema backup de geração da Estação de Compressão de Gás Natural de Paulínia/SP	1.150	100% para Transportadora Brasileira Gasoduto Bolívia-Brasil S/A.	Paulínia - SP	Gás Natural
Total Instalado	2.352.408			

Fonte: www.aneel.gov.br (2015)

3.4. Potencial de mercado

Em meio aos problemas que o Brasil poderá enfrentar nos próximos anos com a oferta de novas fontes de energia no sistema nacional e tendo em vista a alta dependência do Estado de São Paulo referente à importação de energia elétrica de outros Estados, o sistema de cogeração se mostra como solução para essa questão.

A necessidade da descentralização da geração de energia elétrica é tendência no mundo todo e no Brasil não é diferente. Assim, possibilita-se criar condições de geração de energia localizada, cujo nome é geração distribuída. Os principais meios de geração de energia elétrica do Brasil é através de hidrelétricas, que ficam longe do centro de carga, assim fazendo com que haja um alto custo de transmissão (por conta das perdas) e elevado risco de interrupção de fornecimento de energia.

Neste caso da geração distribuída, a utilização de sistemas de cogeração a partir do gás natural surge como uma alternativa de geração de energia elétrica com condições de elevar a confiabilidade do atual modelo de geração centralizada.

No Estado de São Paulo, sistemas de cogeração a gás natural começou a ser utilizada na década de 1980 a partir da oferta de gás natural produzido com a exploração da Bacia de Campos.

Segundo a Cogen (2015), a capacidade atual instalada de cogeração no Estado de São Paulo é de 2323,86 MW, sendo que quase 70 % são operadas a partir da biomassa da cana de açúcar, em 345 unidades de geração. A cogeração a gás natural no Estado de São Paulo, por sua vez, representa aproximadamente 10 % da potência total instalada, atingindo 225 MW.

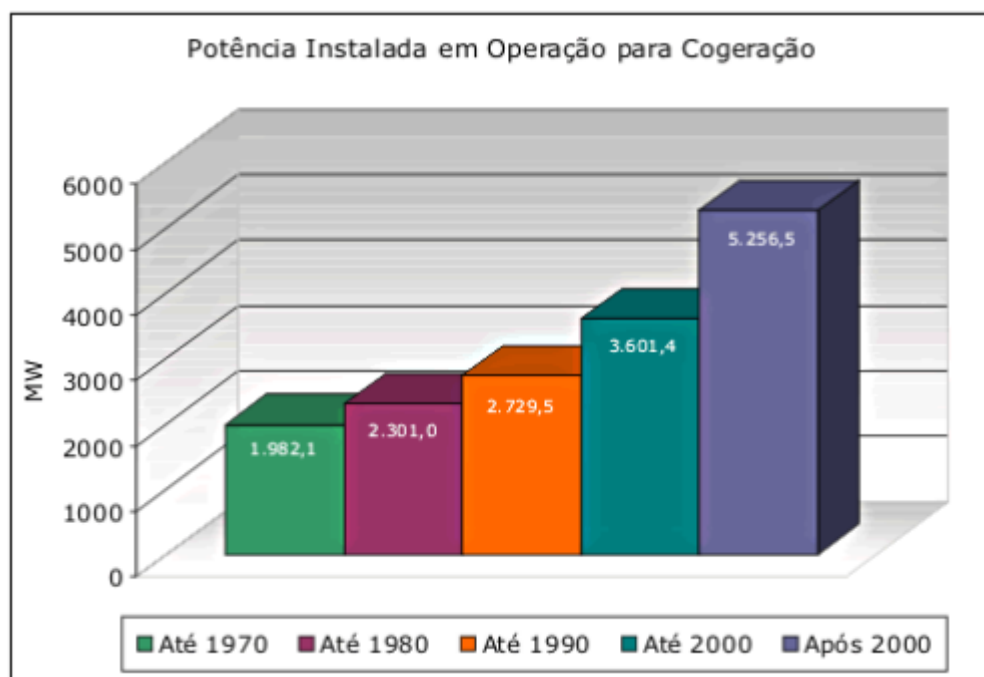


Figura 18 – Potência instalada, em operação, para cogeração – Nacional (Cogen, 2015)

Em estudo realizado pela Associação da Indústria da Cogeração de Energia (Cogen) mostra que o atual mercado de cogeração a gás natural no Brasil está distante do seu verdadeiro potencial. Estima-se que, em 2020, somente o mercado no Estado de São Paulo poderá alcançar uma capacidade instalada de 3471 MW de potência e um consumo de 19 milhões de metros cúbicos por dia (m^3/d) de gás natural. Atualmente, a demanda de gás natural por cogeração no Estado de São Paulo representa um valor 20 vezes menor do que a estimativa de 2020.

O estudo mostra que o segmento industrial será o grande responsável por esse crescimento. A Cogen identificou um potencial de 408 projetos nos segmentos químico, bebidas, papel e celulose, alumínio, cimento, têxtil, alimentício e frigorífico, somando assim o consumo de 16,68 milhões de m^3/d de gás natural e uma capacidade de 2770 MW.

No setor terciário, o potencial será de 1184 projetos nas áreas de *shopping centers*, hotéis, hospitais, supermercados e edifícios corporativos. A capacidade dessas plantas é estimada em 701 MW e 2,367 milhões de m^3/d de consumo de gás.

Tabela 14 – Potencial de cogeração a gás natural – Segmento industrial

Segmento	Nº de clientes em potencial	Potencial de co-geração em MW	Consumo estimado de gás natural em m³/dia
Indústria			
Bebidas	19	65	347.527
Laticínios	26	41	198.526
Frigoríficos	29	105	527.809
Óleos	5	27	194.238
Aminoácidos	4	60	431.640
Massas e Biscoitos	22	62	326.919
Citros	5	104	558.161
Cerâmica	166	59	401.630
Papel e Celulose	30	346	2.051.818
Têxtil	56	183	984.096
Química	26	912	5.329.868
Ferro Gusa e Aço	1	287	2.064.678
Cimento	9	221	1.183.740
Pneus	5	70	417.918
Alumínio	1	164	1.233.444
Madeira	4	63	430.986
TOTAL INDÚSTRIA	408	2.769	16.682.998

Fonte: Cogen (2015)

Tabela 15 – Potencial de cogeração a gás natural – Segmento terciário

Terciário			
Shopping Centers	94	132	444.029
Supermercados	550	358	1.213.580
Hotéis	247	50	170.302
Hospitais	193	118	398.723
Edifícios Corporativos	100	42	141.120
TOTAL TERCIÁRIO	1.184	700	2.367.754

Fonte: Cogen (2015)

3.5. Benefícios

A cogeração oferece vários benefícios tanto para o Brasil quanto para o empreendedor cujo possui este tipo de sistema em suas instalações. Tais quais seguem abaixo:

Benefícios para o Brasil e para o mundo

No caso do Brasil, cuja principal matriz de geração de energia elétrica é a hidrelétrica, cujo está instalada longe dos principais centros de carga do país, a cogeração distribuída, permite com que haja diminuições em perdas de energia elétrica por conta das grandes linhas de transmissão entre outros benefícios. No caso do Mundo, devemos considerar a questão ambiental, pois, a cogeração se mostra mais eficaz na diminuição de emissão de gases poluentes para a atmosfera e comparação com as usinas termelétricas convencionais. Segue alguns benefícios:

Maior eficiência energética: Consiste em comparar uma usina termelétrica para geração de energia elétrica, cuja eficiência é em torno de 40 % com uma central de cogeração de energia elétrica + térmica, cuja eficiência é em torno dos 85 %.

Menor impacto ambiental: Novamente, consiste em comparar os gases emitidos por uma usina termelétrica convencional, já que, aproximadamente, 50 % do combustível utilizado é convertido em gases expelidos para a atmosfera. Quando a cogeração expelle apenas 10 % de gases para a atmosfera. Considerando ainda que o gás natural é menos poluente do que o combustível utilizado nas termelétricas convencionais, que no geral são Diesel ou carvão mineral.

Postergação de investimentos em geração centralizada, transmissão e distribuição de energia elétrica: Sistemas de cogeração contribuem com o conceito de geração distribuída, ou seja, gerar energia elétrica próximo dos centros de carga.

Sustentabilidade: O uso do gás natural para sistemas de cogeração permite com que utilizemos outros combustíveis para geração de energia elétrica, fazendo com que preservemos as nossas reservas naturais.

Benefícios para o empreendedor

Segundo Andreos (2013, p.66), “em função do capitalismo e da grande concorrência no mercado econômico, à ótica do empreendedor está focada nos custos financeiros do seu negócio. Segue alguns benefícios para o empreendedor”:

Autossuficiência energética: Com isso, o empreendedor não depende da principal matriz de geração de energia elétrica, esta que se mostra a cada dia mais vulnerável à atual condição climática e aumento de demanda, evitando com que tenha prejuízo por causa da falta de energia elétrica por parte da distribuidora local.

Confiabilidade e segurança na energia: Com o fato do empreendedor gerar a própria energia, fica por conta dele optar em manter um paralelismo com a distribuidora local, criando assim, uma redundância na geração de energia fazendo com que seu processo fique assegurado em função da indisponibilidade de qualquer uma das fontes.

Maior qualidade de energia: Pelo fato da cogeração estar isolada do Sistema Interligado Nacional (SIN) e tendo um controle local sobre seu funcionamento, o empreendedor fica protegido de possíveis variações na energia elétrica fornecida pelo distribuidor local.

Sendo assim, pode-se concluir que, o uso do sistema de cogeração, tecnicamente, tem a tendência de atender melhor o empreendedor do que a distribuidora local.

3.6. Barreiras

As barreiras principais para a implantação de um sistema de cogeração seguem abaixo:

- Alto custo de investimento inicial
- Equipamentos importados
- Dependência da tarifa do gás natural
- Falta de profissionais especializados para operação e manutenção

4. Estudo de caso

Introdução ao hospital

Voltado para o atendimento médico de pessoas, normalmente, necessita de mais de uma forma de energia para utilizar em seus processos, por exemplo, usa-se energia elétrica e térmica (calor e frio). A necessidade térmica se dá dependendo do procedimento que será efetuado pelos médicos, ou seja, há cirurgias em que o paciente deve ser submetido à uma temperatura ambiente baixa e há cirurgias em que a temperatura ambiente alta é necessária. Sem contar também a necessidade de controle de umidade relativa ambiente em salas que contenham equipamentos eletrônicos complexos, como por exemplo, salas de ressonância.

Premissas adotadas

Hospital existente que possui sistemas de ar condicionado central para climatização de ambientes com *chillers* elétricos com condensação à água e caldeiras a gás natural para geração de vapor. Pretende-se instalar uma central de cogeração de energia para suprir a demanda elétrica e térmica (frio) do local.

Energia elétrica

Demanda contratada: 7.000 kW

Consumo anual no horário de fora de ponta: 19.196.140 kWh

Consumo anual no horário de ponta: 2.742.306 kWh

Consumo anual total: 21.938.446 kWh

Energia térmica

Frio

O hospital necessita de energia térmica (frio) durante 24 horas por dia, 7 dias por semana e 365 dias por ano, ou seja, tempo integral. Com base no levantamento da capacidade dos chillers elétricos instalados no hospital, foi possível estabelecer os seguintes parâmetros:

Local atendido: Bloco I

Demanda térmica: 600 TR

Local atendido: Bloco V

Demanda térmica: 300 TR

Local atendido: Ressonância

Demanda térmica: 90 TR

Local atendido: 10º Andar

Demanda térmica: 240 TR

Local atendido: Cobertura

Demanda térmica: 270 TR

Devido à baixa ocupação devido o funcionamento do hospital ser também durante a madrugada, resultando assim em baixa demanda térmica de climatização, o fator de carga estimado é de 0,7.

Demanda térmica total: 1500 TR

Consumo anual total: 9.204.300 TRh

Consumo no horário de ponta: 1.150.538 TRh

Consumo do horário fora de ponta: 8.053.763 TRh

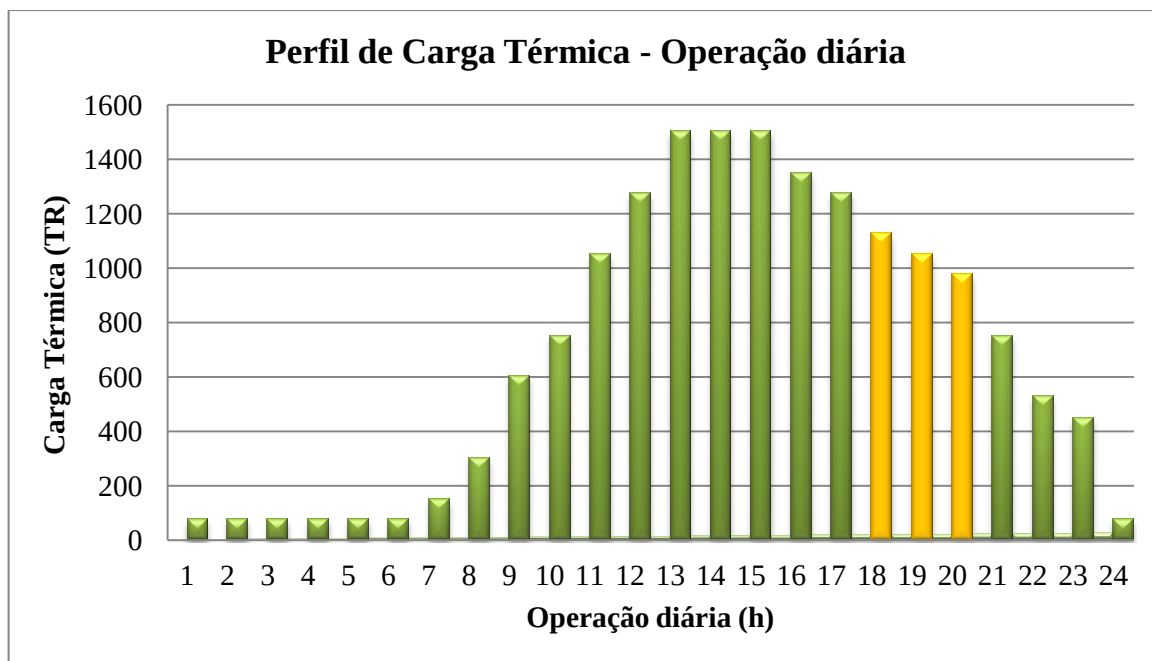


Figura 19 – Perfil de carga térmica da instalação – Operação diária

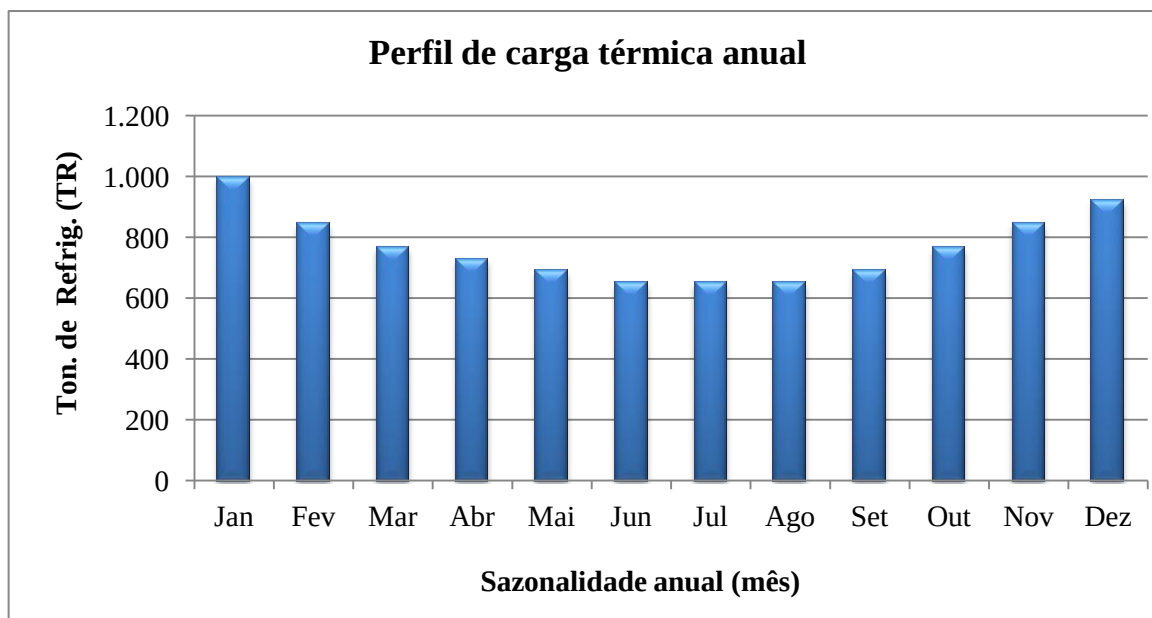


Figura 20 – Perfil de carga térmica anual da instalação

Quente (Vapor)

O hospital necessita de energia térmica (quente) durante 16 horas em média, 7 dias por semana e 365 dias por ano. Segue relação de locais que necessitam de vapor para suas atividades:

Tabela 16 – Demanda de vapor da instalação

<i>Finalidade</i>	<i>Pressão Vapor</i>		<i>Uso Diário</i>		<i>Temperatura</i>		<i>Δh (Entalpia)</i>		<i>Qte</i>
<i>Lavanderia (Lav/Sec)</i>	8,0	kgf/cm ²	20	h/dia	175	°C	584,4	kcal/kg	20
<i>SND (Panelões)</i>	0,5	kgf/cm ²	8	h/dia	111	°C	566,2	kcal/kg	11
<i>Ar Condicionado</i>	3,8	kgf/cm ²	16	h/dia	147	°C	617,4	kcal/kg	42
<i>CME (Autoclaves)</i>	3,5	kgf/cm ²	16	h/dia	147	°C	547,3	kcal/kg	8
<i>Água Quente (Boilers)</i>	6,0	kgf/cm ²	18	h/dia	165	°C	592,0	kcal/kg	3
<i>Caldeira</i>	8,0	kgf/cm ²	16	h/dia	175	°C	574,3	kcal/kg	1

Fluxograma proposto para a instalação

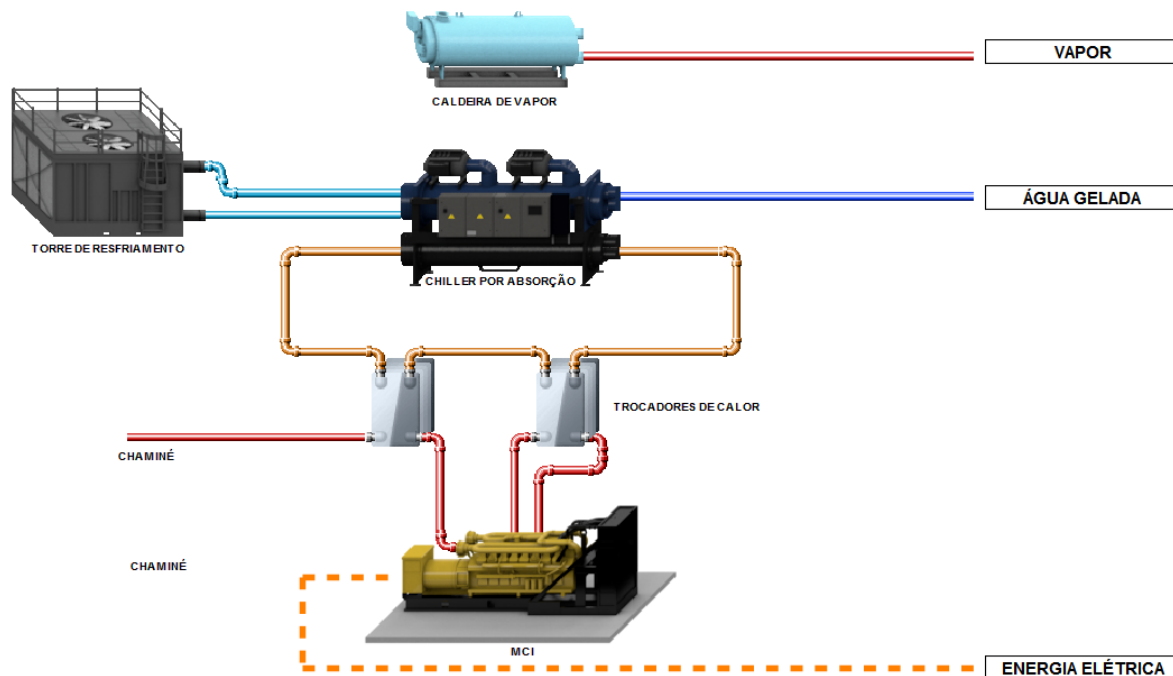


Figura 21 – Fluxograma proposto para a instalação

Configuração adotada

A fim de atender a demanda de energia elétrica e térmica (frio) do hospital, foi considerada uma planta de cogeração autossuficiente, na produção de elétrica, através de um motogerador a gás natural. A rejeição térmica do motogerador será utilizada para produção de água gelada através de um resfriador de líquido por absorção do tipo água quente.

O motogerador (MCI) escolhido para suprir as premissas adotadas é o de modelo CG260-12, cujo fabricante é a *Caterpillar*, segue imagem do MCI:

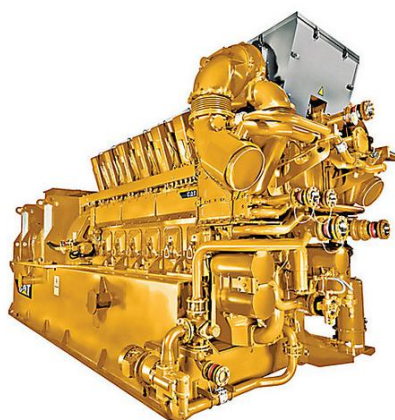


Figura 22 – Motor a combustão interna – Modelo: CG260-12 (Caterpillar, 2015)

Abaixo, algumas características técnicas do equipamento:

Tabela 17 – Características técnicas - MCI

Descrição	Valor
Potência elétrica	3.333 kW
Eficiência elétrica	43,5 %
Eficiência térmica	43,0 %
Eficiência total	86,5 %

Por conta da potência elétrica gerada pelo MCI, será necessária a instalação de dois equipamentos para suprir a necessidade do hospital.

O *chiller* por absorção escolhido para atender as necessidades do hospital é o de modelo 16LJ cujo fabricante é a *Carrier*. Segue imagem:



Figura 23 – Chiller por absorção térmica – Modelo: 16LJ (Carrier, 2015)

Abaixo, algumas características técnicas do equipamento:

Tabela 18 – Características técnicas - ABS

Descrição	Valor
Potência térmica	525 TR
Vazão de água gelada	286,18 m ³ /h
Vazão de água de condensação	429,27 m ³ /h
Vazão de água quente	261,19 m ³ /h
Temperatura de entrada de água quente	95,0 °C
Temperatura de saída de água quente	55,0 °C
Potência elétrica	7,0 kW

Por conta da potência térmica gerada pelo *chiller* por absorção, será necessária a instalação de três equipamentos para suprir a necessidade do hospital.

4.1. Cálculo do consumo de gás natural no MCI

Abaixo, segue tabela com os dados energéticos do combustível utilizado, no caso, gás natural e o rendimento elétrico do MCI de 43,5 %.

Tabela 19 – Consumo de GN do MCI

Consumo	PCI	Rend.	Consumo
Consumo Gás Natural (m3/kWh)	8560 kcal/m3	0,435	0,2310 m3/kWh
	9,96 kWh/m3		

4.2. Cálculo do balanço energético

Tabela 20 – Cálculo do balanço energético

Balanço Energético	
Consumo Gerador:	0.2310 m3/kWh
Capacidade:	6.666 kW
Vazão horária GN:	1.540 m3/h
PCI GN	9.96 kWh/m3
Energia Entra Gerador	15.334 kWh/h
Energia Térmica Bloco	21,8%
Eficiência do Trocador	0,95
Energia Térmica Bloco Util	3.176 kWh/h
Energia Térmica Exaustão	21,2%
Eficiência do Trocador	0,85
Energia Térmica Exaustão Util	2.763 kWh/h
Energia Térmica Util total	5.939 kWh/h
COP Chiller ABS AQ	0,8
Cap. Geração Térmica AG	4.751 kWh/h
Cap. Geração Térmica AG	1.350 TR
Demanda Térmica Total	1.500 TR
Cap. Gerador acoplado QD	150 TR

4.3. Cálculo do fator de utilização de energia

Tabela 21 – Cálculo do fator de utilização de energia

Fator de Utilização de Energia - FUE		
W	6.666 kW	$FUE = \frac{\dot{W} + \dot{Q}_u}{\dot{Q}_{comb}} = 74,5\%$
Qu	4.751 kW	
Qcomb	15.334 kW	

4.4. Cálculo do requisito de qualificação de cogeração

Tabela 22 – Cálculo do requisito de qualificação de cogeração

Cálculo requisito de qualificação da Cogeração - ANEEL Resol. nº 235 14/11/06					
Ef	5.281 kWh/h	$63\% = \frac{Et}{Ef} \geq 15\%$	Cumpre	requisito (a)	
Ee	2.297 kWh/h				
Et	3.324 kWh/h				
X	2,13	$73\% = \left(\frac{Et}{Ef} \right) + X + \frac{Ee}{Ef} \geq Fc\%$	Cumpre	requisito (b)	
Fc	44%				
Cogeração Qualificada ANEEL					

4.5. Cálculo da tarifa de energia elétrica

Tabela 23 – Cálculo da tarifa de energia elétrica – sistema convencional

Cálculo custo de Energia Elétrica - Sistema Convencional					
AES Eletropaulo A4 VERDE	Custo s/ Impostos	Custo c/ Impostos	Demanda (kW)	Consumo (kWh)	Custo (R\$)
Demanda única	R\$ 8,08 /kW	R\$ 10,56 /kW	7.000	-	887.216
Consumo Anual na Ponta	R\$ 0,75325 /kW	R\$ 0,98464 /kW	-	2.742.306	2.700.185
Consumo Anual F. Ponta	R\$ 0,31532 /kW	R\$ 0,41218 /kW	-	19.196.140	7.912.323
Total anual				21.938.446	11.499.724
Custo Específico EE (R\$/kWh)					0,52418
Impostos inclusos:				PIS/PASEP/CONFINS	5,5%
				ICMS	18,0%

Tabela 24 – Cálculo da tarifa de energia elétrica – sistema de cogeração

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\$ 8,08 /kW	R\$ 10,56 /kW	6.257	-	793.044
Consumo Anual na Ponta	R\$ 0,75325 /kW	R\$ 0,98464 /kW	-	124.349	122.439
Consumo Anual F. Ponta	R\$ 0,31532 /kW	R\$ 0,41218 /kW	-	870.442	358.781
Total anual				994.791	1.274.264
Custo Específico EE (R\$/kWh)					1,28094
Impostos inclusos:				PIS/PASEP/CONFINS	5,5%
				ICMS	18,0%

Os valores de tarifação foram baseados em um histórico de 12 meses de bandeira vermelha, ou seja, período em que o preço da energia elétrica é mais alto. Conforme indica a figura abaixo:

Data	CMO + ESS_SE							
		SE/CO		S		NE		N
jan/14		246,33		246,33		246,33		246,33
fev/14		1.063,81		1.063,81		743,26		722,93
mar/14		1.365,94		1.365,94		684,40		429,05
abr/14		922,82		922,82		792,45		776,56
mai/14		916,07		916,07		764,23		554,70
jun/14		600,51		600,51		600,41		600,41
jul/14		446,88		212,59		446,88		446,88
ago/14		607,00		606,70		607,00		607,00
set/14		724,69		724,69		724,69		724,69
out/14		667,28		661,93		667,28		667,28
nov/14		1.005,84		1.005,84		1.005,84		1.005,84
dez/14		542,77		542,77		542,77		542,77
jan/15		530,80		530,80		490,62		474,39
fev/15		1.894,88		1.894,88		731,81		605,81
mar/15		1.343,16		1.343,16		539,15		420,84

Figura 24 – Histórico das bandeiras de tarifação – Nacional (ANEEL, 2015)

4.6. Cálculo da tarifa de gás natural

Tabela 25 – Cálculo da tarifa de gás natural

Volume mensal:		516.226 m3				
Termo Variável (Cogeração)					Tarifas	Valores
1	0,00	a	5.000	5.000,00 m3	0,415719 R\$/m3	R\$ 2.078,60
2	5.000,01	a	50.000	45.000,00 m3	0,326471 R\$/m3	R\$ 14.691,20
3	50.000,01	a	100.000	50.000,00 m3	0,281050 R\$/m3	R\$ 14.052,50
4	100.000,01	a	500.000	400.000,00 m3	0,213493 R\$/m3	R\$ 85.397,20
5	500.000,01	a	2.000.000	16.226,36 m3	0,220693 R\$/m3	R\$ 3.581,04
6	2.000.000,01	a	4.000.000	0,00 m3	0,199758 R\$/m3	R\$ 0,00
7	4.000.000,01	a	7.000.000	0,00 m3	0,174791 R\$/m3	R\$ 0,00
8	7.000.000,01	a	10.000.000	0,00 m3	0,149821 R\$/m3	R\$ 0,00
9	>		10.000.000	0,00 m3	0,124271 R\$/m3	R\$ 0,00
				Termo Variável	0,232070 R\$/m3	R\$ 119.800,53
				Termo Fixo	0,948114 R\$/m3	R\$ 489.441,44
COGERAÇÃO					Valor fatura s/ ICMS	R\$ 609.241,97
					Valor fatura c/ ICMS	R\$ 692.320,43
					Tarifa média s/ ICMS	1,180184 R\$/m3
					Tarifa média c/ ICMS	1,341118 R\$/m3

Foi considerado, no cálculo da tarifa de gás, os seguintes pontos:

- Valores vigentes na portaria ARSESP nº 575, de 07/05/2015 com vigência a partir de 31/05/2015.
- Segmento destinado ao consumo próprio
- Consideração de impostos PIS/PASEP/COFINS e ICMS de 12 %

4.7. Resultado

Tabela 26 - Resultado do estudo de caso

UTILIDADES	CONVENCIONAL	COGERAÇÃO
	AES Eletropaulo A4 VERDE	AES Eletropaulo A4 VERDE
ENERGIA ELÉTRICA		
Demanda Energia Elétrica (kW)	7.000	6.257
Consumo Anual Ponta (kWh)	2.742.306	124.349
Consumo Anual Fora Ponta (kWh)	19.196.140	870.442
Consumo Anual Total (kWh)	21.938.446	994.791
(Fator de Carga Resultante)	0,36	

Custo Específico (R\$/kWh) - C/ Impostos	R\$0,52418	R\$1,28094
Custo anual total de energia elétrica	R\$11.499.724	R\$1.274.264
GERAÇÃO DE ENERGIA A GÁS NATURAL		Motogerador
Capacidade (kW)		6.666
Energia Elétrica Anual Gerada (kWh)		20.136.522
Consumo Anual de Gás Natural (m3)		4.650.717
Custo do GN (R\$/m3) - C/ Impostos		R\$1,341118
Custo com Manutenção do(s) gerador(es)		R\$1.006.826
Custo anual de geração de energia elétrica		R\$7.243.986
Custo do kWh Gerado (R\$/kWh) - C/ Impostos		R\$0,35974
ENERGIA TÉRMICA - AR CONDICIONADO		
CARGA TÉRMICA ANUAL (TRh)	9.204.300	9.204.300
TR cogen (TR)		1.350
ENERGIA TÉRMICA PRODUZIDA PELA COGERAÇÃO (TRh)		8.283.870
AR CONDICIONADO ELÉTRICO		
Carga Térmica (TR)	1.500	1.500
Rendimento kW/TR da Central de Água Gelada	0,50	
Demanda de Energia Elétrica do Sistema de Ar Cond (kW)	750	
Consumo EE Anual Total (kWh)	4.602.150	
Custo com Manutenção do Ar Condicionado	R\$172.500	
Custo com reposição de água e tratamento químico AC	R\$894.996	
Custo com Energia Elétrica - CAG	R\$2.412	
Custo Total da CAG	R\$1.069.908	
Custo Relativo por TR (R\$/TRh)	R\$0,1162	
AR CONDICIONADO A GÁS NATURAL (ABSORÇÃO ÁGUA QUENTE + QUEIMA SUPLEMENTAR)		
TR Queima Suplementar (TR)		150
ENERGIA TÉRMICA PRODUZIDA PELA QUEIMA DIRETA (TRh)		920.430
Consumo Anual de Gás Natural Queima Suplementar (m3)		220.903
Custo anual de GN adicional Chiller ABS QD		R\$296.257
Rendimento kW/TR da Central de Água Gelada		0,03
Demanda de Energia Elétrica do Sistema de Ar Cond GN (kW)		7
Consumo EE Anual Total (kWh)		276.129
Custo com Energia Elétrica - CAG		R\$354
Custo com Manutenção do Ar Condicionado		R\$120.000
Custo com reposição de água e tratamento químico AC		R\$1.181.395
Custo Total da CAG		R\$1.598.006
Custo Relativo por TR (R\$/TR)		R\$0,1736
CUSTO OPERACIONAL		CONVENCIONAL
Custo anual total de energia elétrica	R\$11.499.724	R\$1.274.264
Custo anual de geração de energia elétrica	-	R\$7.269.129
Custo anual de GN adicional Chiller ABS QD	-	R\$297.452
Custo com Manutenção do Ar Condicionado	R\$172.500	R\$120.000
Custo com reposição de água e tratamento químico AC	R\$894.996	R\$1.181.395

CUSTO OPERACIONAL TOTAL	R\$12.567.220	R\$10.142.239
ECONOMIA OPERACIONAL	REFERÊNCIA	R\$2.424.981
		19%
INVESTIMENTOS	CONVENCIONAL	COGERAÇÃO
Aquisição dos Resfriadores de líquido	-	R\$1.650.000
Instalação dos Resfriadores de líquido	-	R\$900.000
Bombas de condensação e torre	-	R\$750.000
Investimento em Substação de EE da CAG	-	R\$3.128.500
Aquisição de Geradores	-	R\$5.466.120
Instalação de Geradores	-	R\$3.333.000
INVESTIMENTO TOTAL	-	R\$15.227.620
PAYBACK SIMPLES (anos)		6,3

4.8. Análise financeira

Tabela 27 – Parâmetros financeiros

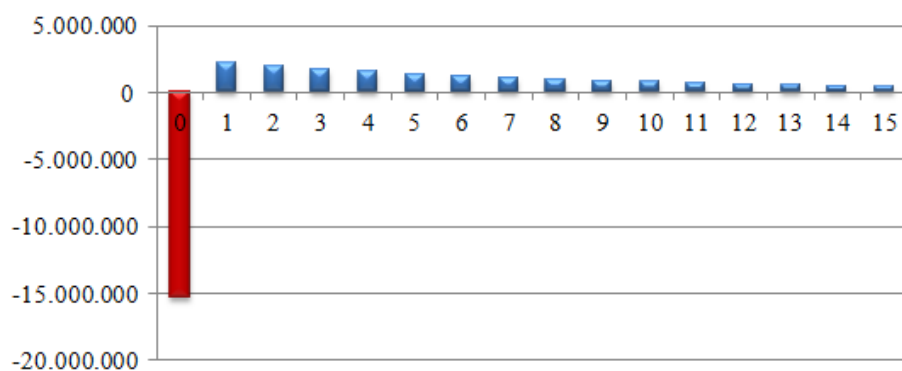
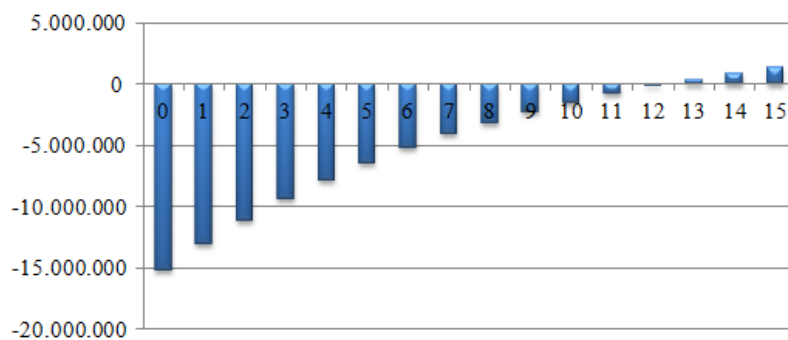
Parâmetros Financeiros		
Inv. Inicial Adicional	-R\$ 15.227.620	Ilo
Fluxo de Caixa	R\$ 2.424.981	FLC
Taxa de desconto	12%	r
Período (anos)	10	n

Tabela 28 - Resultado financeiro

Resultado Financeiro	
Payback simples	6,3 anos
Payback Descontado	11,2 anos
VPL	R\$ 1.288.594
TIR	9,5%

Tabela 29 – Fluxo de caixa descontado e acumulado

Ano	FLC	FLCD	FLCA
0	-15.227.620	-15.227.620	-15.227.620
1	2.424.981	2.165.161	-13.062.459
2	2.424.981	1.933.180	-11.129.279
3	2.424.981	1.726.053	-9.403.226
4	2.424.981	1.541.119	-7.862.107
5	2.424.981	1.375.999	-6.486.108
6	2.424.981	1.228.571	-5.257.537
7	2.424.981	1.096.938	-4.160.599
8	2.424.981	979.409	-3.181.190
9	2.424.981	874.472	-2.306.718
10	2.424.981	780.779	-1.525.939
11	2.424.981	697.124	-828.815
12	2.424.981	622.432	-206.383
13	2.424.981	555.743	349.360
14	2.424.981	496.199	845.559
15	2.424.981	443.035	1.288.594

Fluxo de Caixa Descontado**Figura 25 – Fluxo de caixa descontado****Fluxo de Caixa Acumulado****Figura 26 – Fluxo de caixa acumulado**

5. Conclusão

Centrais de cogeração, por possibilitar a geração de mais de um tipo de energia em função de uma fonte primária, se mostra tecnicamente viável por conta da grande disponibilidade de equipamentos para atender diversas demandas do mercado, tanto setor industrial quanto o setor terciário. Atualmente, o que impossibilita o avanço de instalações de centrais de cogeração é o alto custo dos equipamentos, por serem importados, fazendo com que o tempo de retorno do investimento (*payback*) seja alto.

Um fator que tem se mostrado atrativo, mesmo com o avanço do preço do gás natural ao longo dos anos, é o alto preço da energia elétrica por conta da nova forma de tarifação, esta baseada de acordo com o custo de geração da energia elétrica através das centrais termelétricas. Atualmente, o Brasil está com sua capacidade de geração hidrelétrica reduzida por conta da falta de água e com isso o aumento do uso das termelétricas vem acontecendo para suprir o fornecimento para atender a demanda do país, e com isso, a tarifação de energia elétrica, nos últimos meses, vem se enquadrando na categoria 'bandeira vermelha', tarifa esta a mais alta.

Tomando como base o hospital (existente) que foi utilizado para estudo de caso neste trabalho, houve uma redução 19 % do custo operacional com o uso da cogeração em relação ao sistema convencional e assim obtendo um *payback* descontado de 11,2 anos, um VPL de R\$ 1.288.594 e TIR de 9,5 %. Com isso, os resultados obtidos mostram a não viabilidade técnico-econômica na instalação de uma central de cogeração para atender a demanda elétrica e térmica (frio) por conta do alto tempo de retorno do investimento.

Conclui-se que, no hospital estudado, a instalação do sistema de cogeração é viável por ser um local existente, porém, já não seria aceito no investimento de um empreendimento novo.

Bibliografia

BALESTIERI, J.A.P. **Cogeração: Geração combinada de eletricidade e vapor**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2002. 279 p.

HODGE, B.K. **Sistemas e aplicações de energia alternativa**. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 307 p.

LIZARRAGA, J.M.S. **Cogeneration: Aspectos termodinámicos, tecnológicos y económicos**. 3.^a edición. Bilbao: Servicio editorial Universidad del Pais Vasco, 1999. 565 p.

ANDREOS, R. **Slides de aula – Cogeração**. Especialização em energias renováveis, geração distribuída e eficiência energética. Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2014.

_____. **Estudo de viabilidade técnico-econômica de pequenas centrais de cogeração a gás natural no setor terciário do estado de São Paulo**. São Paulo: 2013. 168 p. Tese (Mestrado em Energia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SIMÕES-MOREIRA, J.R. **Slides de aula – Termodinâmica**. Especialização em energias renováveis, geração distribuída e eficiência energética. Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2013.

_____. **Aplicações da termodinâmica**. Especialização em energias renováveis, geração distribuída e eficiência energética. Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2013.

ROMO, B.N. **Estudo de viabilidade técnico-econômica de cogeração e eficiência energética aplicada ao processo de fabricação de mangueiras multiusos**. São Paulo: 2015. 79 p. Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

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

CARRIER. **Catálogos de equipamentos de ar condicionado**. Disponível em: <<http://www.carrier.com>>. Acesso em: 2015

JOHNSON CONTROLS. **Catálogos de equipamentos de ar condicionado**. Disponível em: <<http://www.johnsoncontrols.com>>. Acesso em: 2015

MAHLE. **Catálogos técnicos**. Disponível em: <<http://www.mahle-aftermarket.com>>. Acesso em: 2015

CATERPILLAR. **Catálogos de motores a combustão interna**. Disponível em: <<http://www.caterpillar.com>>. Acesso em: 2015

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **BIG - Banco de Informações de Geração**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 2015

ASSOCIAÇÃO DA INDÚSTRIA DE COGERAÇÃO DE ENERGIA . **Dados atuais de cogeração no Brasil**. Disponível em: <<http://www.cogen.com.br>>. Acesso em: 2015