

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

SIMULAÇÃO ENERGÉTICA DE UM HOTEL UTILIZANDO COGERAÇÃO

por

Luiz Alberto Rovaris Albers

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, Novembro de 2013.



Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica

SIMULAÇÃO ENERGÉTICA DE UM HOTEL UTILIZANDO COGERAÇÃO

por

Luiz Alberto Rovaris Albers

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof^a. Dr^a. Thamy Cristina Hayashi
Coordenadora do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: **Energia e Fenômenos de Transporte**

Orientador: Prof. Dr. Paulo Otto Beyer

Co-orientador: Eng^o Eduardo Gus Brofman

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr. Nattan Roberto Caetano

Prof. Dr. Pedro Barbosa Mello

Prof^a. Dr^a. Thamy Cristina Hayashi

Porto Alegre, 14 de Novembro de 2013.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por mais esta oportunidade, e por colocar pessoas iluminadas em meu caminho.

De modo especial agradeço a minha mãe, Ana Rovaris pelo incentivo de caráter obstinado para início curso de engenharia e pelo apoio incondicional nos momentos difíceis.

Agradeço a minha esposa Tamires pelo, apoio, carinho, compreensão e incentivo ao final desse curso, quando ninguém mais podia fazer.

Aos meus orientadores Prof. Dr. Paulo Otto Beyer e Eng° Eduardo Gus Brofman pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho.

ALBERS, L. A. R. SIMULAÇÃO ENERGÉTICA DE UM HOTEL UTILIZANDO COGERAÇÃO, 2013 17 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

RESUMO

O objetivo do trabalho é reduzir o custo operacional sem afetar o conforto dos hóspedes de um hotel localizado em Porto Alegre. Para isso foram realizadas análises energéticas e financeiras da aplicação de um sistema de cogeração na produção de energia. Para a análise energética foi utilizado o EnergyPlus, *software* de simulação termo-energética de edificações, em três simulações. A primeira sem o sistema de cogeração para avaliar os resultados do programa com os consumos reais de energia fornecido pelo hotel e também para dimensionar a potência do motogerador, que será utilizado para a produção de energia. A segunda utilizando óleo diesel e a terceira utilizando gás natural, ambas como fonte de energia para o motogerador. Para a análise financeira, foram comparados os resultados das simulações sem e com cogeração para avaliar e contabilizar o retorno do investimento da aquisição e instalação de um sistema de cogeração em relação ao sistema operante atual do hotel. Os sistemas de cogeração são viáveis, sobretudo o que utiliza gás natural como fonte de energia, obtendo uma redução de 21,05% no gasto anual de energia, entretanto o valor para implantação do sistema é alto cerca de R\$ 715.000,00.

PALAVRAS-CHAVE: EnergyPlus, cogeração, simulação termo-energética de edificações.

ALBERS, L. A. R. **ENERGETIC SIMULATION OF A HOTEL USING CHP** 2013. 17 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

ABSTRACT

The objective is to reduce operational costs without affecting guests comfort of a hotel located at Porto Alegre. For that were performed energetic and financial analyses to test for the viability of CHP system in the power generation. The energetic analysis was done with *EnergyPlus*, a thermo-energetic simulation software designed for buildings, in three simulations. The first without the CHP system, in order to evaluate the software results with the actual energy consumption rates provided by the hotel and to calculate the potency of the motor-generator, which will be used for energy production. The second simulation was run with diesel fuel and, finally, the third simulation was run with natural gas. The last two power sources were used to power up the motor-generator. To do the financial analysis, results of the simulations with and without CHP were compared in order to evaluate and calculate the return of investment of the acquisition and installation of a cogeneration system compared to the hotel is current operating system. The CHP systems are viable for this purpose, especially the one powered by natural gas, reducing the annual energy costs in 21,05%. However, the amount of investment required for implementing a cogeneration system is high around R\$ 715,000.00.

KEYWORDS: EnergyPlus, CHP (Combined Heat and Power), thermo-energetic buildings simulation

ÍNDICE

	Pág.
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	1
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	1
3.1 COGERAÇÃO.....	2
4. METODOLOGIA.....	3
4.1 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS.....	3
4.1.1 GOOGLE SKETCHUP.....	3
4.1.2 OPEN STUDIO.....	3
4.1.3 ENERGYPLUS.....	4
4.2 ARQUIVO CLIMÁTICO.....	4
4.3 CARGAS INTERNAS.....	5
4.4. ENERGIA.....	5
4.4.1. TARIFAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	5
4.4.2. VALORES DAS TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA.....	5
4.5 REGIMES DE OPERAÇÃO CHP.....	6
4.6 SISTEMA DE COGERAÇÃO DO HOTEL.....	7
5. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA E RESULTADOS.....	9
5.1 UTILIZAÇÃO DO HOTEL.....	10
5.2 TECNOLOGIAS DE COGERAÇÃO.....	10
5.3 SIMULAÇÕES.....	11
5.3.1 SIMULAÇÃO SEM COGERAÇÃO.....	11
5.3.2 SIMULAÇÃO COM COGERAÇÃO UTILIZANDO ÓLEO DIESEL.....	12
5.3.3 SIMULAÇÃO COM COGERAÇÃO UTILIZANDO GÁS NATURAL.....	12
5.4 INVESTIMENTO E RETORNO FINANCEIRO.....	12
6. CONCLUSÕES.....	13
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	14
Apêndice I – PROJETO ARQUITETÔNICO HOTEL - CORTES.....	15
Apêndice II – PLANTA BAIXA PAVIMENTO TIPO.....	15
Anexo I – INCENTIVOS Á COGERAÇÃO.....	16
Anexo II – TABELA DE DADOS EDÍFICOS DE SERVIÇOS.....	17

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com o aumento do consumo de energia e com a preservação do meio ambiente tem sido uma constante na sociedade atual, estas preocupações aliadas à redução de custos e a necessidade cada vez maior de conforto das pessoas, desafiam profissionais de engenharia a desenvolver soluções que atendam a essas exigências.

O Brasil está entre os maiores consumidores de energia do mundo, segundo a EPE, 2012b. A taxa média anual de consumo de energia do país apresentou um crescimento de 3,4% ao ano no período de 2000 a 2012 e existem projeções de que esse consumo aumente cerca de 4,7% ao ano para o período de 2012 a 2022. O Brasil depende de uma matriz energética baseada em hidroelétricas que podem chegar à 89% da produção de energia. Que por sua vez dependem das chuvas para suprir a sua necessidade de consumo [EPE, 2012a].

O consumo de energia elétrica nas edificações residenciais, comerciais, de serviços e públicas correspondem a cerca de 45% do consumo total de energia do Brasil segundo informações do EPE/BEN, 2009. Com tendência de aumento no consumo nesse setor devido a estabilidade da economia, acesso da população à novas tecnologias, elevada taxa de urbanização e crescimento no setor de serviços. O potencial de conservação de energia neste setor é bastante expressivo através de reformas e/ou atualização das edificações já existentes e nas novas edificações ao se usar desde a concepção do projeto tecnologias de maior eficiência energética.

Certificações como o Procel Edifica promovem condições para o uso eficiente da eletricidade nas edificações, reduzindo os desperdícios e os impactos sobre o meio ambiente. A *(LEED) Leadership in Energy and Environmental Design* (1998), que tem como objetivo promover a construção ou readaptação de edifícios com responsabilidades ecológicas, rentáveis, e que apresentem ambientes saudáveis e agradáveis. Estas ferramentas podem ser usadas para se obter bons resultados na redução do consumo de energia em edificações.

Nesse sentido, a proposta deste trabalho, que será posteriormente verificada em termos de viabilidade e desempenho, é a utilização da cogeração como um método mais eficiente para a produção de energia em uma edificação que presta serviços de hotelaria na cidade de Porto Alegre. A análise de desempenho energético de um edifício depende de vários fatores que variam desde processos administrativos e de gerenciamento, da densidade e do horário da ocupação, das condições do clima local, assim como das características construtivas e arquitetônicas, dos equipamentos e instalações. Faz-se necessário o conhecimento e determinação de todos esses fatores, pois apresentam relação entre si.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho tem o objetivo de realizar uma análise energética e financeira da aplicação do sistema de cogeração em um hotel localizado na cidade de Porto Alegre. A parte financeira deverá contabilizar o retorno do investimento na aquisição de um motorgerador com a instalação de um sistema de cogeração, relacionando-o com o sistema que opera atualmente no hotel, a análise energética identificará os consumos de energia por tipos de usos finais.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Cipriano, (2003), realizou uma análise do consumo de energia elétrica de um ambiente climatizado em uma construção localizada na cidade de Porto Alegre, e fez uma comparação entre os resultados medidos com os resultados calculados com o EnergyPlus, verificando que o programa é confiável para fazer simulações termo-energéticas.

A autoprodução constitui-se em importante elemento na análise do atendimento à demanda de eletricidade, uma vez que ela já representa quase 10% de toda a energia elétrica

consumida no país, experimentou crescimento acelerado nos últimos dez anos e tem grande potencial de expansão no horizonte decenal [EPE, 2012 b].

Conforme Barja, 2006, a cogeração em aplicações prediais encontra viabilidade econômica em diversos segmentos, tais como: hospitais, hotéis, escolas e universidades, prédios de escritórios ou de apartamentos, casas, restaurantes, shopping centers, supermercados, piscinas, etc.

3.1 COGERAÇÃO

A cogeração (Combined Heat and Power – CHP) é uma solução de engenharia que consiste na produção simultânea de energia elétrica e energia térmica utilizando qualquer ciclo termodinâmico desde que seja da mesma fonte de energia, qualquer que seja essa fonte. Esta tecnologia é conhecida desde o final do século XIX com o uso da máquina a vapor d'água que permitia o uso simultâneo do fluido energético para processos de aquecimento e acionamento mecânico, mais tem sido valorizada a partir dos anos 1980 [Monteiro, 2005].

Tem como principal vantagem o maior aproveitamento da energia contida na fonte, entre outras, que vão desde a maior confiabilidade no sistema, já que na prática a cogeração é um sistema de auto produção de energia obtida de equipamentos reconhecidamente confiáveis e de combustíveis que não estão sujeitos à bruscas interrupções de fornecimento. Ou até mesmo, segundo Newton, 2005, quando os resultados não são representativos na redução de custos, as empresas recorrem a cogeração, buscando benefícios na sua imagem através da preocupação ambiental. A cogeração pode ser considerada uma energia limpa quando faz o aproveitamento de biocombustíveis sólidos (como o resíduo de madeira) e gasoso (como gases de aterros sanitários) como fonte de energia.

Segundo Newton, 2005, quando se compara os sistemas sem cogeração e com cogeração, para uma mesma quantidade de combustível consumida. O primeiro trabalha com eficiência elétrica de cerca 30%, com perdas de 70% da energia do combustível, que são rejeitados pelos gases de escapamento, pela água do radiador, entre outras. Já o segundo, ao se utilizar o calor residual com o processo de cogeração agregado, a eficiência elétrica se mantém inalterada, porém as perdas totais se restringem a cerca de 20%, totalizando uma eficiência energética global de até 80%. As figuras 3.1a e 3.1b representam a comparação entre estes dois sistemas.

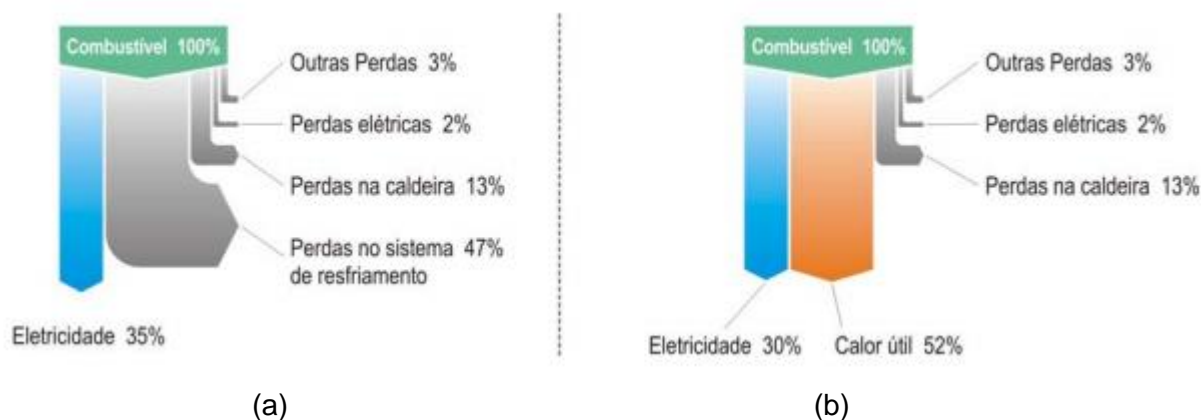


Figura 3.1 (a) Balanço térmico de planta de geração pura com motor alternativo; (b) Balanço térmico de uma planta semelhante, com sistema de cogeração. Fonte: Barja, 2006.

Segundo Barja, 2006, a relação entre a produção de eletricidade e calor nos motores de combustão interna é elevada. O calor pode ser recuperado de quatro formas: a partir dos gases de exaustão, da água de refrigeração do motor, do óleo lubrificante e da refrigeração do turbo compressor. Na figura 3.2 observa-se um típico esquema de um sistema de cogeração utilizando como combustível o gás natural, aproveitando a energia térmica dos gases quentes da exaustão e da água de resfriamento do motor.

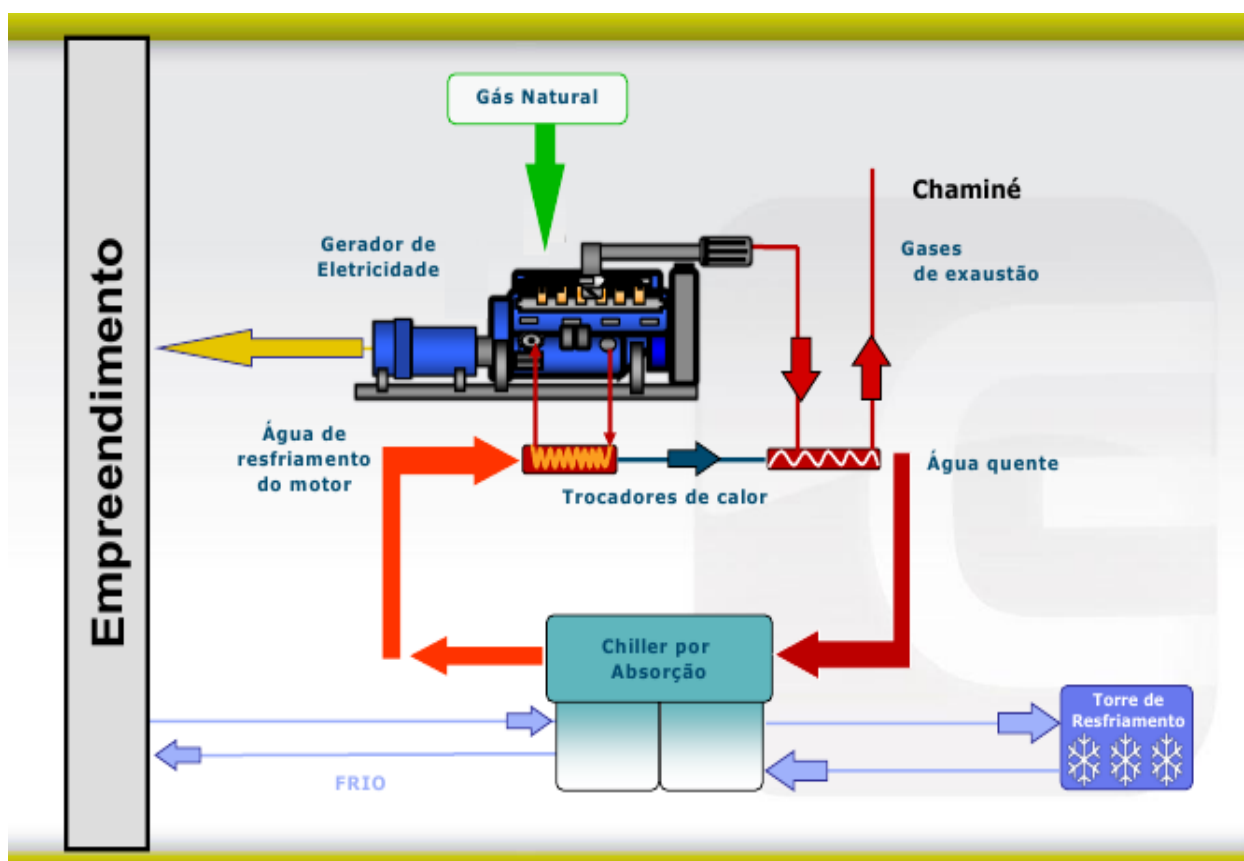


Figura 3.2 – Esquema de produção de energia utilizando cogeração a gás natural.

4. METODOLOGIA

4.1 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

Para simulação termo-energética do hotel em Porto Alegre foram utilizadas as seguintes ferramentas computacionais: Google SketchUp, Open Studio e o EnergyPlus.

4.1.1 GOOGLE SKETCHUP

É um programa de modelagem tridimensional com interface de fácil utilização e é disponibilizado de forma gratuita pelo Google. O esboço de uma edificação pode ser construído de forma rápida seguindo as informações geométricas contidas no projeto arquitetônico. No presente trabalho foi utilizada a versão 8.0 do programa.

4.1.2 OPEN STUDIO

Aplicativo de uso gratuito, desenvolvido pelo *National Renewable Energy Laboratory* do Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE) para ser utilizado como *Plug-in* no *SketchUp*. Proporciona a criação de zonas térmicas no *SketchUp*, que são ambientes que possuem o mesmo regime de utilização e um mesmo perfil de carga térmica. Desta forma serve como entrada de dados para o EnergyPlus, ou seja, as informações físicas das construções são transmitidas para o EnergyPlus do SketchUp através da criação de um arquivo com extensão *.idf* (*Input Data File*).

4.1.3 ENERGYPLUS

Programa de simulação de cargas térmicas e análises energéticas, desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, escrito em linguagem *Fortran 90* e que é substituto dos programas *BLAST* e *DOE-2*. É um programa livre e disponível para ser baixado (versão utilizada 8.0) na página do DOE. Este programa foi desenvolvido com o objetivo auxiliar no aperfeiçoamento de características construtivas das edificações para um menor consumo energético, possibilitando soluções com maior conforto térmico dos seus ocupantes.

Permite uma série de entrada de dados como: cargas internas de pessoas, de iluminação, de equipamentos, posicionamento geográfico da construção, infiltrações, arquivo climático, propriedades térmicas dos elementos constitutivos, permite a seleção de diferentes tipos de ar condicionado, intervalo de tempo da simulação, entre outros. O programa pode emitir também diversos tipos de relatórios, tais como: consumo de energia por tipo de carga, custo energético da edificação, pico de demanda, entre outros.

Algumas simplificações são feitas pelo programa, tais como: fluxos de calor unidimensionais, temperaturas e propriedades constantes ao longo de cada superfície, temperatura uniforme dentro de uma mesma zona com o objetivo de simplificar os cálculos.

4.2 ARQUIVO CLIMÁTICO

O arquivo produzido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEE) da Universidade Federal de Santa Catarina que reúne informações meteorológicas para uma determinada localização geográfica, de no mínimo dez anos, na forma de um ano climático, o TRY (*Test Reference Year*) com 8760 horas. O arquivo contém informações como temperatura, umidade relativa, temperatura de orvalho, pressão atmosférica, radiação solar, direção e velocidade do vento, o arquivo está no formato *epw* (*EnergyPlus Weather File*) que é reconhecido pelo EnergyPlus.

A figura 4.1 mostra a evolução da temperatura de bulbo seco da cidade de Porto Alegre durante as 8760 horas do ano climático, esta é uma das informações do arquivo climático utilizados na simulação com o EnergyPlus.

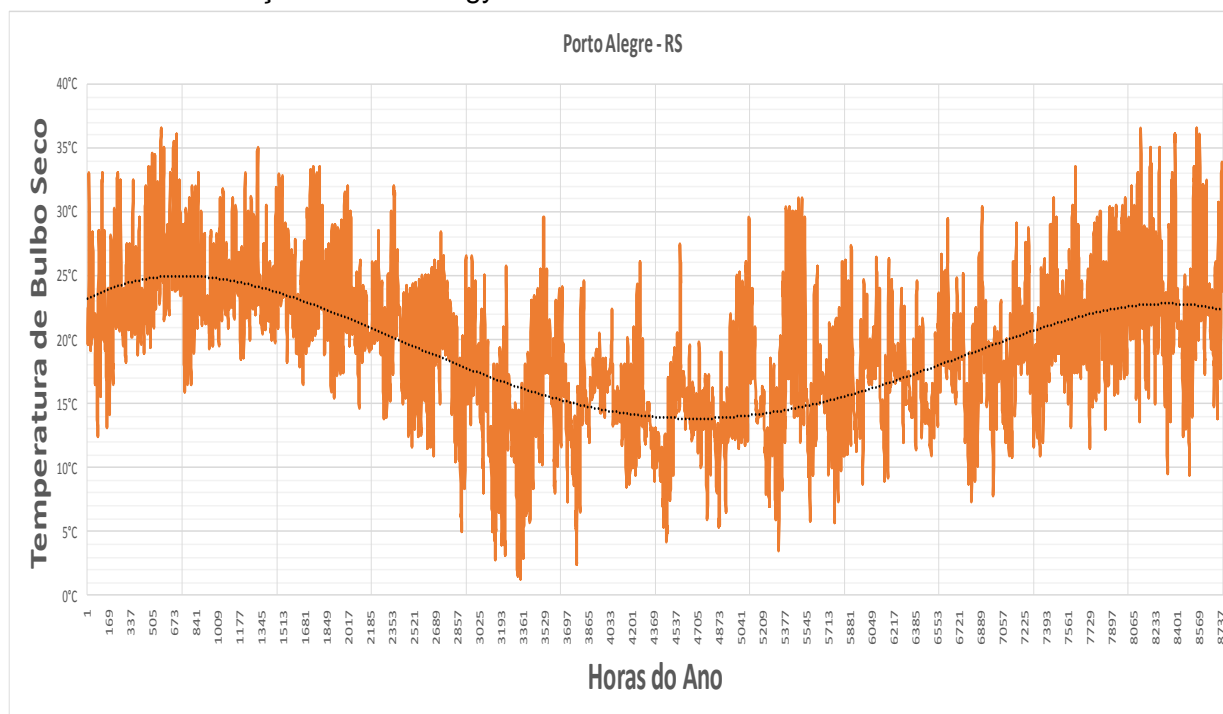


Figura 4.1 Temperatura de bulbo seco em Porto Alegre durante as horas do ano.

4.3 CARGAS INTERNAS

As cargas internas são taxas de calor liberadas no interior dos ambientes. No presente trabalho, destacam-se os ocupantes, a iluminação e os equipamentos. As cargas internas de ocupação foram definidas para cada um dos grupos de zonas de acordo com o manual da ASHRAE 90.1, 2007, a tabela com a ocupação para edifícios de serviços está no anexo II, sendo que a ocupação depende da funcionalidade de cada ambiente, no caso, para os quartos do hotel que representam a maior área da edificação, a ocupação utilizada foi de 23,22 m² por pessoa. As cargas internas de iluminação, responsáveis por um grande consumo energético, também foram definidas para cada grupo de zonas térmicas de acordo com o manual ASHRAE 90.1, 2010, sendo que para os quartos a carga é de 11,9 W/m². A determinação da taxa de calor liberada pelos equipamentos, que correspondem a computadores, monitores e impressoras, foi de 4 W/m².

4.4. ENERGIA

4.4.1. TARIFAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

As tarifas de energia elétrica são definidas com base em dois componentes: demanda de potência e consumo de energia. A demanda de potência é medida em (quilowatt) e corresponde à média da potência elétrica solicitada pelo consumidor à empresa distribuidora durante um intervalo de tempo especificado, normalmente 15 minutos, e é faturada pelo maior valor medido durante o período de fornecimento, normalmente de 30 dias. O consumo de energia é medido em (quilowatt-hora) ou em (megawatt-hora) e corresponde ao valor acumulado pelo consumo da potência elétrica disponibilizada ao consumidor ao longo de um período, normalmente de 30 dias. As tarifas de demanda de potência são fixadas em reais por quilowatt e as tarifas de consumo de energia elétrica são fixadas em reais por (megawatt-hora) (R\$/MW.h) e especificadas nas contas mensais do consumidor em reais por (quilowatt-hora) [ANEEL, 2005].

A tarifação para consumidores de alta tensão é dividida em três modalidades: convencional, horo sazonal azul e horo sazonal verde. A tarifa convencional é aquela em que é aplicada independentemente das horas de utilização do dia e também dos períodos do ano, apresentando um valor para a demanda de potência e outro para o consumo de energia elétrica. Já as tarifas horo sazonais consistem na aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência conforme as horas utilizadas durante o dia, assim como os períodos do ano, visando a redução e racionalização do consumo de energia elétrica. Nesse sentido, foram estabelecidos dois períodos, os chamados postos tarifários, sendo o de “ponta” correspondente ao período de maior consumo de energia elétrica, ou seja, no período das 18 às 21 horas nos dias úteis, enquanto que o “fora de ponta” compreende as demais horas dos dias úteis e dias não úteis, apresentando um custo menor em relação as chamadas “horas de ponta”. É estabelecido também dois períodos em relação à incidência de chuvas: “período úmido” e “período seco”; sendo o último o responsável por um maior custo de produção de energia elétrica e, conseqüentemente, uma maior tarifação. Em relação às denominações horo sazonal azul e horo sazonal verde, o que as diferenciam são os limites de tensão aplicadas, sendo a primeira igual ou superior a 69 kV e segunda inferior a 69 kV, ficando assim à escolha do consumidor.

4.4.2. VALORES DAS TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA

Conforme CEEE, 2013, os valores das tarifas A4 horo sazonal verde estão na tabela 4.1 com data de aplicação a partir de 24/01/2013.

Tabela 4.1 – Tabela de tarifas da energia grupo A4, CEEE, 2013.

SubGrupo	Modalidade Tarifária	Encargo	Unidade	Custo (R\$)
A4	AZUL	Demanda de Ponta	kW	22,26
		Demanda Fora de Ponta	kW	6,79
		Energia de Ponta	kW.h	0,23363
		Energia Fora de Ponta	kW.h	0,14988
	VERDE	Demanda	kW	6,79
		Energia de Ponta	kW.h	0,76901
		Energia Fora de Ponta	kW.h	0,14988
	CONV	Demanda	kW	22,82
Energia		kW.h	0,15686	

4.5 REGIMES DE OPERAÇÃO CHP

O sistema de cogeração pode atuar de três formas: a primeira, mostrada na figura 4.2, onde a produção de energia do sistema de cogeração acompanha a demanda de energia do empreendimento durante todo o dia. A segunda, mostrada na figura 4.3, onde o regime de produção de energia do sistema é constante durante todo o dia, e o excedente de energia produzida é inserido na rede da distribuidora, e permanece como crédito para períodos seguintes. A terceira, mostrada na figura 4.4, onde o regime de operação do sistema de cogeração atua somente no horário de ponta que é das 18 às 21 horas em dias úteis.

O terceiro regime de operação é o que foi escolhido para realizar as simulações neste trabalho, pelo fato da energia fornecida pela distribuidora ter um custo maior nos horários de ponta do que nos outros horários, tabela 4.1, e também, coincidir com horário de maior demanda de energia do hotel.

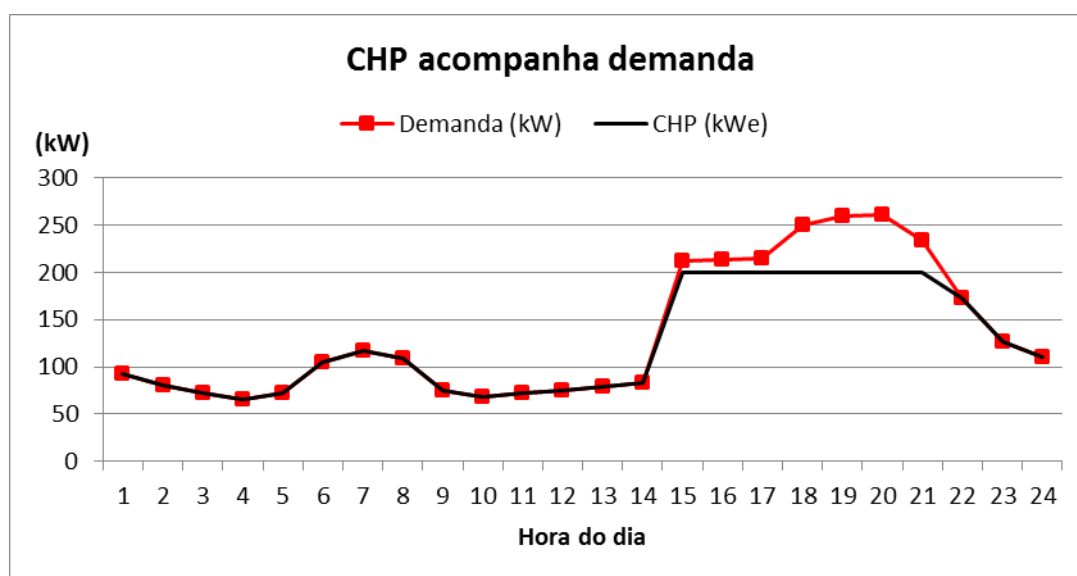


Figura 4.2 – O regime de operação do CHP acompanha a demanda de energia.

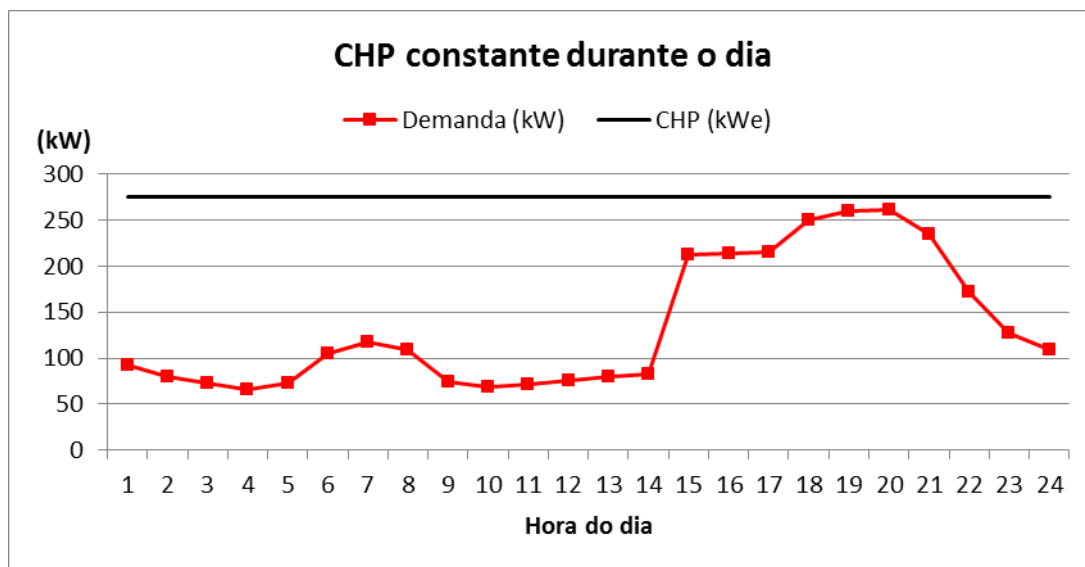


Figura 4.3 – O regime de operação do CHP é constante durante todo o dia.

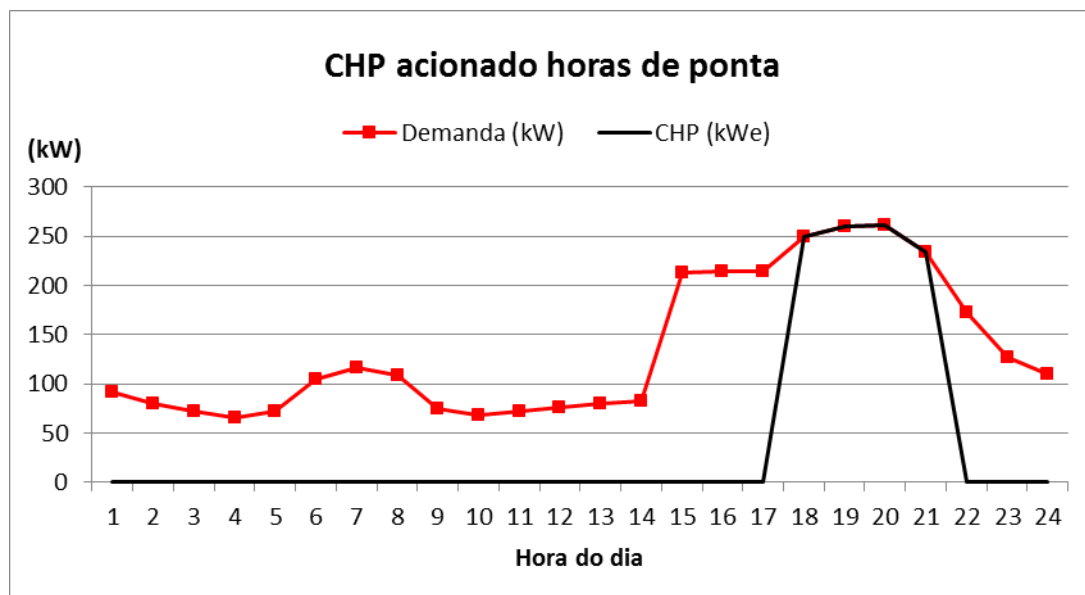


Figura 4.4 – Operação com CHP somente no horário de ponta.

4.6 SISTEMA DE COGERAÇÃO DO HOTEL

O sistema de água quente do hotel irá, em uso final, fornecer água para os chuveiros. A vazão calculada de pico foi de $0,026 \text{ m}^3/\text{s}$ e o dimensionamento do termo acumulador de água quente foi de $23,4 \text{ m}^3$. Estes dimensionamentos foram realizados calculando o número de chuveiros do hotel, com um banho de 10 minutos por pessoa por dia com uma vazão do chuveiro de 10 litros por minuto para uma demanda de pico, ou seja, caso todos os chuveiros do hotel fossem ligados ao mesmo tempo.

O sistema de cogeração simulado para o hotel recuperará energia térmica de três formas, do calor do óleo lubrificante, do calor dos gases de exaustão e do calor da água de arrefecimento do motor, e as eficiências respectivamente são de 9,63%, 27,07% e 25,33% e o eficiência no eixo do gerador é de 37,43%, com o motor operando na sua potência máxima, na figura 4.5 pode ser observado o esquema de cogeração utilizado no hotel.

As informações de desempenho estão no catálogo fabricante Waukesha F18GL GLD, as quais foram ajustadas por Brofman, 2013.

A eficiência elétrica (η_e) do gerador é descrita pela equação 1.

$$\eta_e = 0,19263 + 0,33295*(PLR) - 0,16124*(PLR^2) \quad (1)$$

onde PLR (Part Load Ratio) é razão de potência do motor que é igual potência de operação dividido pela potência nominal do motor.

A eficiência de recuperação do calor do óleo lubrificante (η_o) é descrita pela equação 2.

$$\eta_o = 0,09306 - 0,03526*(PLR) + 0,03856*(PLR^2) \quad (2)$$

A eficiência na recuperação do calor da água de radiador (η_r) é descrita pela equação 3.

$$\eta_r = 0,43761 - 0,36897*(PLR) + 0,18472*(PLR^2) \quad (3)$$

A eficiência na recuperação dos gases de exaustão (η_g) é descrita pela equação 4.

$$\eta_g = 0,21724 + 0,09198*(PLR) - 0,03850*(PLR^2) \quad (4)$$

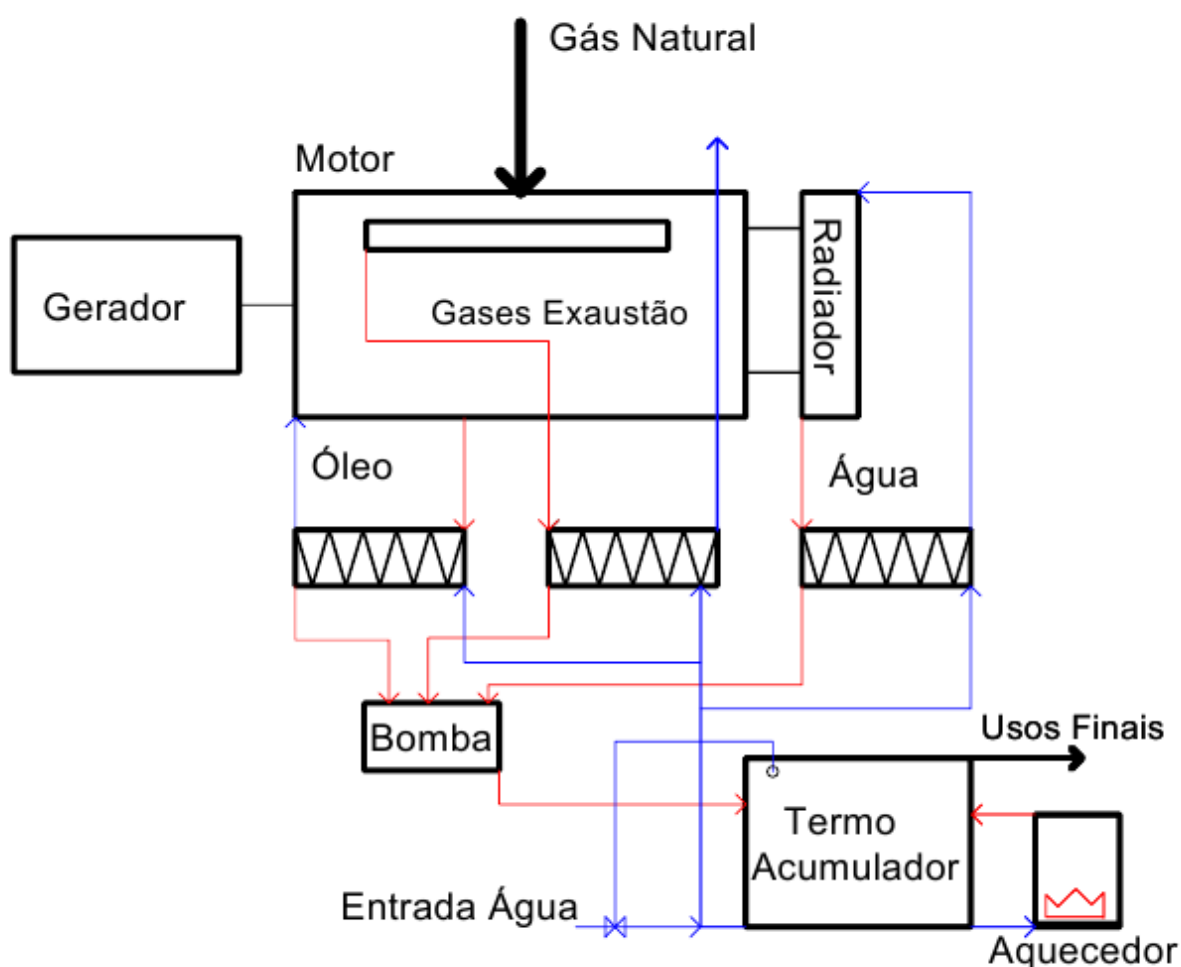


Figura 4.5 – Esquema do sistema de cogeração simulado a gás natural para o hotel.

5. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA E RESULTADOS

A edificação escolhida para as simulações foi um hotel localizado na cidade Porto Alegre, RS, com uma área construída de 13.000 m² com 20 pavimentos sendo 4 subsolos, 12 pavimentos tipo, possui 126 quartos e demais áreas, tais como: restaurantes, escritórios, bares, corredores, depósitos, recepção, cozinhas, refeitórios, lavanderia, salas de máquinas, salas de eventos e áreas de manutenção.

O consumo de energia elétrica anual é de 562.891 kW.h, o que significa um consumo médio de 43,3 kW.h/m² por ano e a demanda de potência elétrica contratada pelo hotel é de 160 kW.

O modelo tridimensional produzido no Google SketchUp apresenta as dimensões e características próximas as reais, o que pode ser observado na comparação entre o projeto arquitetônico do apêndice I e a figura 5.1. Conforme o projeto arquitetônico foram criados dois níveis de pavimentos “tipo” (pavimento tipo é aquele que se repete em vários pavimentos), um do terceiro ao oitavo andar (planta baixa, vide apêndice II), com 16 quartos por andar, foram modeladas 14 zonas térmicas. Outro do décimo ao décimo quinto andar, com 10 quartos por andar, foram modeladas 10 zonas térmicas.

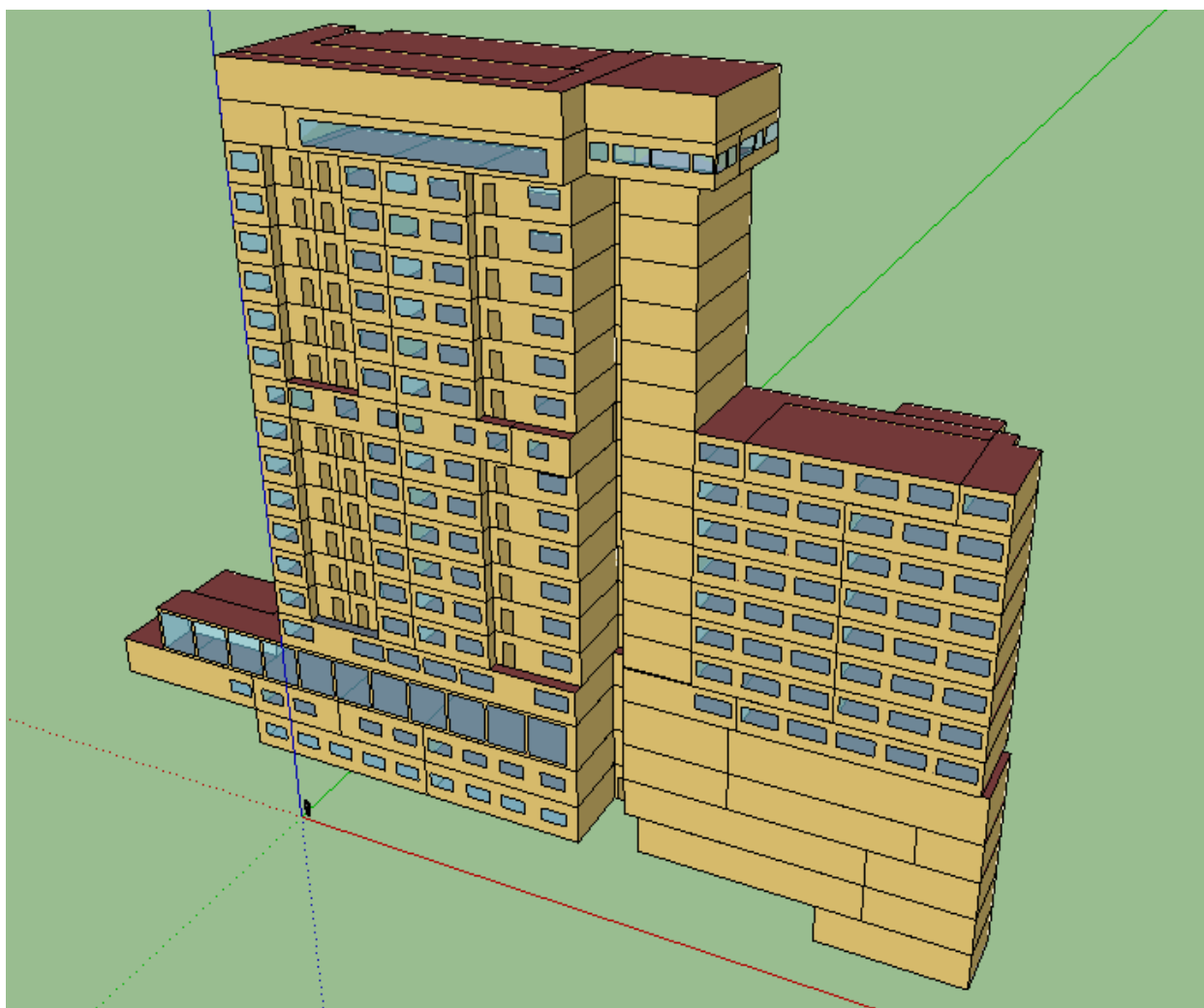


Figura 5.1 – Geometria do hotel criada no SketchUp que serviu de entrada para o EnergyPlus.

5.1 UTILIZAÇÃO DO HOTEL

Nesta etapa é fornecido ao programa EnergyPlus dados de utilização do hotel através da criação dos *schedules*, para exemplificar, no item 4.3 ficou definido que a taxa de ocupação dos quartos do hotel seria de 23,22 m² por pessoa, porém, a taxa de ocupação varia dependendo do horário do dia ou ainda, do dia da semana. Estas informações devem ser consideradas nos cálculos, pois influenciam na carga térmica interna dos ambientes, através de um percentual, onde o número um representa ocupação total e zero corresponde a nenhuma utilização. Também devem ser inseridos juntamente com a taxa de ocupação, o período do dia e o dia da semana. O processo semelhante é seguido com a criação de *schedules* para as cargas de iluminação, equipamentos, etc.

5.2 TECNOLOGIAS DE COGERAÇÃO

A aplicação da cogeração é convencionada de duas formas, em função da sequência relativa da geração de energia eletromecânica para a térmica: geração anterior de energia eletromecânica (*topping*) e geração posterior de energia eletromecânica (*bottoming*), Barja, 2006.

Na tecnologia *bottoming*, a energia disponibilizada pela fonte é primeiramente aproveitada como calor útil em altas temperaturas e posteriormente para geração de energia eletromecânica. Esta tecnologia é mais restrita, pois poucos processos industriais, como siderurgia e refinarias, operam em faixas de temperaturas entre 1000~1200°C e podem fornecer, através dos gases de exaustão que saem em temperaturas elevadas, o suficiente para produção de energia eletromecânica. Entretanto, este tipo de tecnologia, em geral, apresentam rendimentos inferiores a tecnologia *topping*.

Na tecnologia *topping*, figura 5.2, a energia disponibilizada pela fonte é primeiramente aproveitada para a geração de energia eletromecânica (altas temperaturas), e em seguida é realizado o aproveitamento de calor útil. Esta é a tecnologia empregada na maioria dos processos, devido à maior demanda de calor em baixas temperaturas.

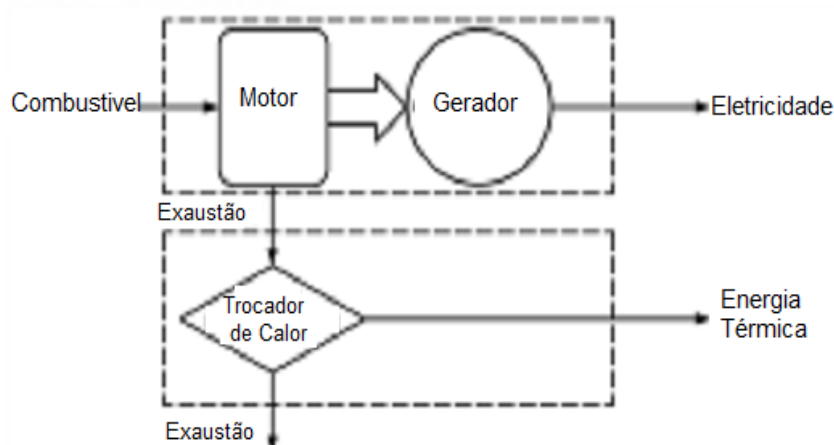


Figura 5.2 – Representação do tipo de tecnologia de cogeração *topping*.

Fonte: Adaptado de ASHRAE, 2008.

A tecnologia de cogeração do tipo *topping* foi utilizada para as simulações do hotel, pois existe a necessidade de geração de calor útil em baixas temperaturas, que será utilizado nos chuveiros para o aquecimento da água.

5.3 SIMULAÇÕES

Realizou-se três simulações para o hotel neste trabalho, uma sem o sistema de cogeração e outras duas com o sistemas de cogeração, diferenciando-se apenas na fonte de energia, diesel e gás natural respectivamente.

5.3.1 SIMULAÇÃO SEM COGERAÇÃO

Primeiramente foi realizada uma simulação sem usar a cogeração para comparar os resultados obtidos no EnergyPlus com o levantamento real de consumo de energia elétrica do hotel.

Antes de fazer a comparação entre os consumos de energia e os custos operacionais e de implantação do sistema com e sem cogeração foi realizado ajuste de consumo energético do modelo de referência do hotel com a intenção que os dados obtidos pelo modelo computacional ficassem bem próximos aos reais da pesquisa. Isto foi realizado alterando alguns parâmetros de entrada de grande influência no consumo energético do hotel, como por exemplo, temperatura de *set point* do ar condicionado e potência dos equipamentos de escritórios e iluminação do hotel.

Os resultado do consumo de energia elétrica na simulação foi de 47,41 kW.h/m² por ano, aproximadamente 9,5% maior que a real, o que pode ser aceito devido à uma menor ocupação de hóspedes no período da pesquisa. Na figura 5.3 observa-se o consumo de energia anual por carga do hotel, seus maiores consumos de energia são para iluminação e resfriamento.

O custo anual para a energia elétrica foi de R\$ 213.463,34 e para o gás natural foi de R\$ 75.720,88.

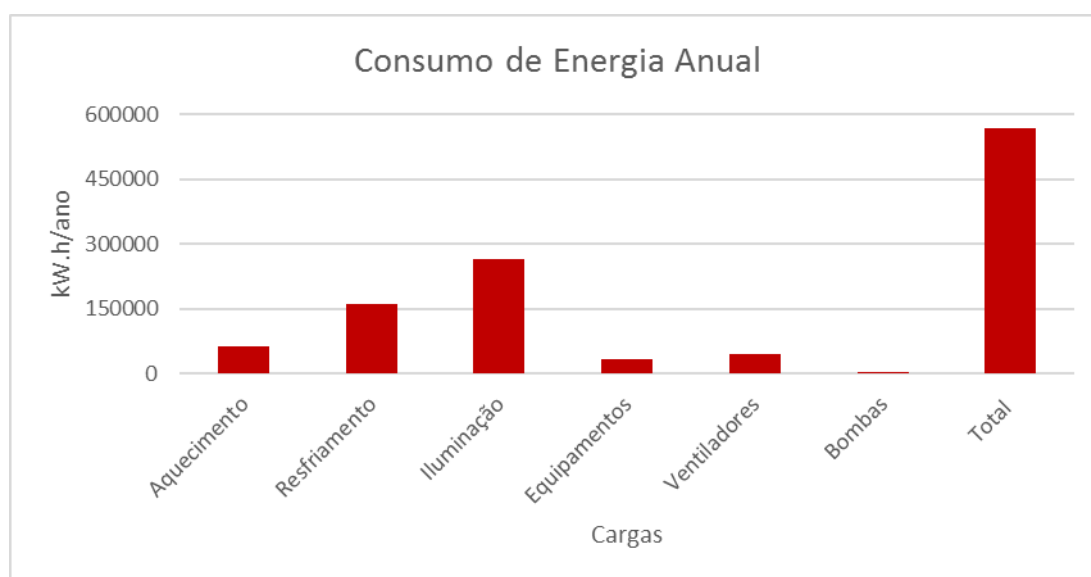


Figura 5.3 - Consumo anual de energia por uso final.

Esta simulação também serviu para dimensionar o tamanho do motorizador necessário para as simulações seguintes que utilizarão a cogeração, este dimensionamento depende do resultado da demanda de pico de eletricidade, que aconteceu no dia 01 de fevereiro as 19:15 horas e foi de 261.405,56 W. A demanda de pico de gás natural aconteceu no dia 09 de junho as 07:15 horas, como pode ser observado na tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Pico de demanda anual em seus usos finais.

Carga	Eletricidade [W] 1 Fev as 19:15 h	Gás Natural [W] 3 Jun as 07:15 h
Resfriamento	174.481	
Iluminação Interna	76.627	
Equipamentos	3.033	
Ventiladores	6.970	
Bombas	291	
Sistema de água	-	1.443.764
Total	261.405	1.443.764

5.3.2 SIMULAÇÃO COM COGERAÇÃO UTILIZANDO ÓLEO DIESEL

A primeira simulação com sistema de cogeração foi realizada utilizando como fonte de energia o óleo diesel, operando em horário de ponta, o gasto anual com a energia elétrica diminuiu consideravelmente para R\$ 121.144,00 e houve redução para R\$ 56.404,00 no gasto anual com o gás natural, acrescido do gasto de R\$ 60.472,00 com o óleo diesel, resultando numa economia total de R\$ 51.165,00 ao ano ou 17,7%.

5.3.3 SIMULAÇÃO COM COGERAÇÃO UTILIZANDO GÁS NATURAL

A segunda simulação com o sistema de cogeração e usando regime de operação de horário de ponta, foi realizada usando como fonte de energia o gás natural, a redução no gasto anual com a energia elétrica permaneceu inalterado em R\$ 121.144,00 e o gasto com a aquisição do gás natural aumentou para R\$107.140,00, contudo sem o gasto do óleo diesel a economia total de energia no ano foi de R\$ 60.900,00 ou 21,05%. A tabela 5.2 mostra a comparação de gastos entre o sistema atual, sem cogeração, e as simulações com o óleo diesel e com o gás natural.

Tabela 5.2 – Comparação do gasto anual de energia das três simulações realizadas.

	Sem CHP (sistema atual)	Com CHP (gás)	Com CHP (diesel)
Gasto Energia Elétrica (R\$)	213.463,00	121.144,00	121.144,00
Gasto Gás Natural (R\$)	75.721,00	107.140,00	56.404,00
Gasto Óleo Diesel (R\$)	-	-	60.472,00
Gasto Total (R\$)	289.184,00	228.284,00	238.018,00
Economia (R\$)	-	60.900,00	51.166,00

5.4 INVESTIMENTO E RETORNO FINANCEIRO

Segundo Schmidt, 2013, a compra de motogerador nacional tem um custo estimado de 1600 R\$/kW, o serviço de instalação de um sistema de cogeração é estimado em 1000 R\$/kW e o custo de manutenção é em torno de 45 R\$/MW.h. Na Tabela 5.3 tem os custos de aquisição do motogerador de 275 kW, que se faz necessário para atender a maior demanda anual do hotel com o custo de implantação do sistema de cogeração para este motogerador, assim como o custo anual de manutenção, lembrando que o motogerador funcionará apenas em horário de ponta.

Tabela 5.3 – Valores para implantação de um sistema de cogeração a gás natural.

	Custo unitário	Para motorizador de 275 kW
Aquisição do motorizador	1.600,00 R\$/kW	R\$ 440.000,00
Instalação do sistema de cogeração	1.000,00 R\$/kW	R\$ 275.000,00
Custo de Manutenção	45 R\$/MW.h	R\$ 9.429,00 ao ano

Para a análise da viabilidade econômica da implantação do projeto de cogeração no hotel, utilizou-se a Taxa Interna de Retorno (TIR), que é usada como método de análise de investimentos, onde este será economicamente atraente, se a TIR for maior do que a taxa mínima de atratividade (taxa de retorno esperada pelo investimento). A TIR também pode ser utilizada na comparação entre dois ou mais projetos de investimentos, quando estes forem mutuamente excludentes. Neste caso, o projeto que apresentar o maior valor da TIR será o projeto economicamente mais viável.

O fluxo de caixa para o investimento na cogeração com gás natural, onde o investimento inicial, será de R\$ 715.000,00 e o retorno anual do investimento será de R\$ 51.470,00, que é a economia anual de R\$ 60.900,00 descontando o custo anual de manutenção que é de R\$ 9.429,00. Na tabela 5.4 está mostrada a TIR por ano de investimento do fluxo de caixa descrito.

Tabela 5.4 – TIR por ano a partir da instalação de cogeração a gás natural.

ANO	TIR
10	-3,70%
11	-2,18%
12	-0,93%
13	0,10%
14	0,98%
15	1,71%
16	2,34%
17	2,88%
18	3,35%
19	3,75%
20	4,11%

6. CONCLUSÕES

A economia anual no gasto com a energia do hotel, simulando a cogeração com gás natural e com óleo diesel como fonte de energia, foi considerável, resultando em 21,05% e 17,7% respectivamente.

O custo de aquisição de motorizador e a instalação de um sistema de cogeração, ainda é muito alto, cerca de R\$ 715.000,00 para um sistema que atenda a demanda de pico de energia do hotel.

O investimento financeiro começa a apresentar retorno a partir do décimo terceiro ano, e no vigésimo ano chegando a uma TIR de 4,11%, considerando o gás natural como fonte de energia para o motorizador.

Os estudos de retorno financeiro podem seguir por outras linhas, como por exemplo, verificar a viabilidade do investimento com aquisição de motorizador de menor potência, que não vai atender a demanda de pico do hotel, seu custo de aquisição e instalação será menor, porém a economia anual de energia também será menor, entretanto, o retorno financeiro poderá ser obtido em menor tempo.

Com o aumento da produção nacional de gás natural, espera-se menor volatilidade e um declínio no preço do gás natural que pode aumentar a viabilidade do projeto.

Outros fatores que requerem maiores estudos para viabilidade econômica ao projeto, e que podem ser alvo de estudos futuros são as linhas de créditos e incentivos regulatórios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL, “**Tarifas de Fornecimento de Energia Elétrica**” cadernos temáticos, 2005.

ASHRAE Handbook, “**HVAC Systems and Equipment SI**” Chapter, combined Heat and power systems, 2008.

ASHRAE. “**Standard 90.1 – Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings**”. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, SI Edition, 2007.

ASHRAE. “**Standard 90.1 – Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings**”. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, SI Edition, 2010.

BARJA, G. J. A. “**A cogeração e sua inserção ao sistema elétrico**”. Dissertação de Mestrado, Publicação ENM.DM 100A/06, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 157 p, 2006.

BROFMAN, E. Comunicação pessoal. 2013.

CEEE, Companhia Estadual de Energia Elétrica do Rio Grande do Sul. “**Tabela de tarifas Grupo A**”. <http://www.cee.com.br>. Acessado em 23 de Outubro de 2013.

CIPRIANO, C. J., 2003. “**Simulação termoenergética de um sistema de ar condicionado para comparação dos resultados medidos e simulados**”, Monografia de Graduação em Engenharia. UFRGS/DEMEC, Porto Alegre, Brasil.

DOE, 2013. Disponibilizado pelo U.S. Department of Energy. Download do programa EnergyPlus e plug-in OpenStudio: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus> Acessado em 20/08/2013

EPE. “**Balço Energico Nacional**”. Ano base 2011, Empresa de Pesquisa Energética, Ministério de Minas de Energia. Rio de Janeiro, 2012.

EPE. “**Projeção da Demanda de Energia Elétrica**”. Série estudos de demanda, nota técnica DAE 22/12 da Empresa de Pesquisa Energética, Ministério de Minas de Energia. Rio de Janeiro, 2012.

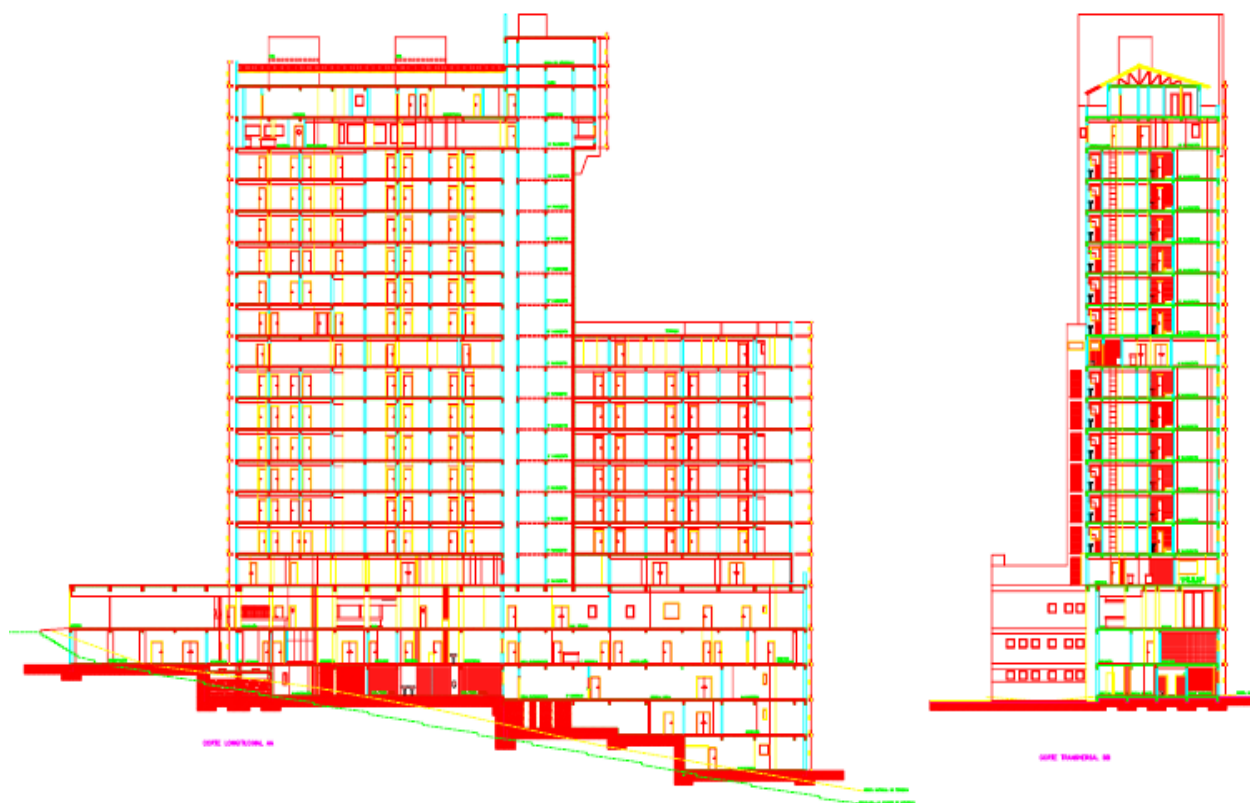
LABEE, Laboratório de Eficiência Energética de Edificações. Disponibiliza arquivos climáticos. Disponível em <http://www.labee.ufsc.br>, acessado em setembro de 2013.

MONTEIRO, C. “**Cogeração Apontamentos Produção e transporte de energia II**,” FEUP, 2005.

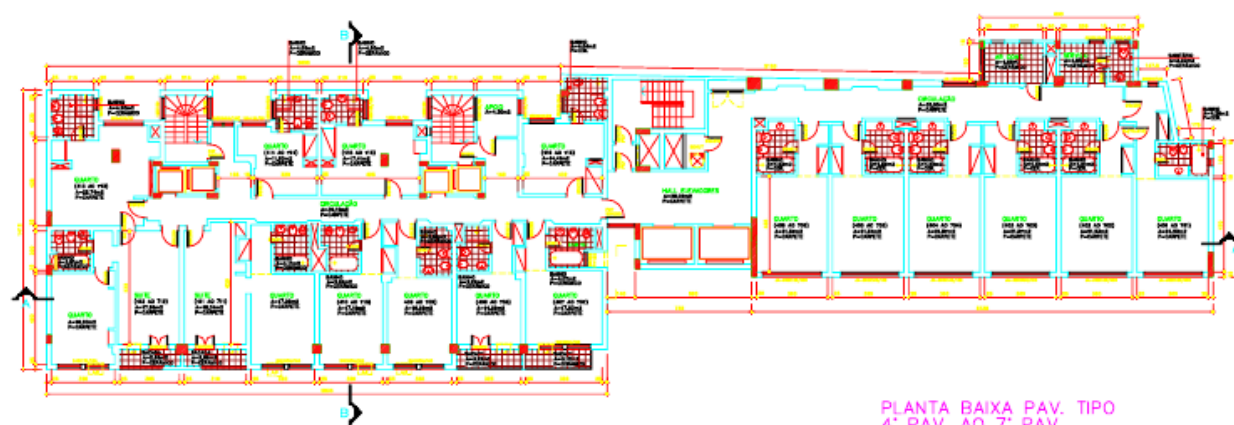
NEWTON, P.B., “**Apostila de cogeração**” Curso de Engenharia de equipamentos, 2005.

SCHMIDT, C., Comunicação pessoal. 2013.

Apêndice I – PROJETO ARQUITETÔNICO HOTEL - CORTES



Apêndice II – PLANTA BAIXA PAVIMENTO TIPO



PLANTA BAIXA PAV. TIPO
4º PAV. AO 7º PAV.

Anexo I – INCENTIVOS À COGERAÇÃO

Incentivos regulatórios, creditícios e tributários para o uso da cogeração.

Incentivos Regulatórios:

Decreto nº 2.003/96 permite o cogrador comercializar energia elétrica com integrantes de seu complexo industrial ou comercial.

A Resolução Aneel nº 21/2000 regulamenta o conceito de cogeração qualificada para participar em políticas de incentivo governamentais.

A Lei nº. 9.991/2000 isenta a cogeração qualificada, assim como eólica, solar, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas, de aplicar de 1% da receita operacional líquida da venda de energia em P&D.

A Lei nº. 10.438/2002, reduz em 50% a TUST ou TUSD para a venda de excedentes da cogeração qualificada até 30 MW.

O Decreto nº. 5.163/2004 permite a compra pelas distribuidoras de energia de geração distribuída, incluindo termelétricas com eficiência acima de 75%.

A estrutura tarifária do gás natural em alguns estados estabelece preços diferenciados para a cogeração, com isenção do pagamento mensal por disponibilidade (eg. Portaria da Comissão de Serviços Públicos de Energia - CSPE nº. 412, de 26 de maio de 2006).

Incentivos Creditícios:

O BNDES possui uma linha de financiamento específica para programas de eficiência energética, o PROESCO, banco também possui o tradicional FINAME além do produto do banco para aquisição de máquinas e equipamentos é o Programa de Sustentação do Investimento (PSI).

A Nossa Caixa Desenvolvimento tem uma linha de financiamento, chamada Economia Verde, que tem como objetivo o promover projetos que proporcionem a redução das emissões de gases do efeito estufa no meio ambiente.

O Decreto Estadual 57.610/11, de São Paulo, promoveu alterações tributárias para importação de equipamentos de termelétricas a gás, sem similar nacional.

Incentivos Tributários:

O REIDI é um programa de incentivo federal destinado a empresas que tenham projeto aprovado para implantação de obras de infraestrutura. Em energia contempla projetos de geração, cogeração, transmissão e distribuição de energia elétrica, o incentivo consiste na suspensão do PIS e do COFINS incidentes sobre a venda e importação de máquinas e equipamentos, materiais de construção e prestação serviços a e empreendimentos habilitados.

A utilização dos benefícios do REIDI exige prévia habilitação do interessado junto à Secretaria da Receita Federal do Brasil e após enquadramento do projeto pelo ministério responsável.

Anexo II – TABELA DE DADOS EDÍFICOS DE SERVIÇOS

Tabela retirada da ASHRAE,2007. Adaptada.

Tipo de Edifício	Ocupação m ² / pessoa	Potência Água Quente Watt por pessoa
Assembleia	4,65	63,01
Instituição de saúde	18,58	39,56
Hotel/Motel	23,22	322,41
Indústria leve	69,68	65,94
Escritório	25,55	51,29
Estacionamento	NA	NA
Restaurante	9,29	114,3
Varejo	27,78	39,57
Escola	6,96	63,01
Depósito	1,39	65,94