

# APLICAÇÃO DE UM SISTEMA DE COGERAÇÃO EM UM HOTEL ECONÔMICO

**Bruno do Val Jorge dos Santos**

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
brunodovaljorge@gmail.com

**Resumo.** O propósito deste artigo é estudar a utilização de um sistema de cogeração em um hotel típico da cidade de São Paulo. Esse sistema é caracterizado pela substituição do tradicional resfriador elétrico por um resfriador de absorção de brometo de lítio, movido à queima de gás natural e a exaustão dessa queima é utilizada para aquecer a água de uso interno. Para realizar a simulação, foi utilizado o software EnergyPlus, simulando um ano de trabalho desse hotel. A simulação fornece dados como o consumo mensal de energia elétrica do edifício, discriminando-o onde que se dá o consumo. Dessa maneira, foi possível comparar o uso de energia em função do tipo de climatização utilizado onde constatou-se que esse tipo de cogeração não é economicamente viável para a configuração estudada.

**Palavras chave:** Cogeração, hotéis, climatização, absorção, brometo de lítio.

## 1. Introdução

Durante o funcionamento de um hotel típico, uma grande parcela de energia é gasta para a climatização do ambiente, onde normalmente utiliza-se um sistema de ar condicionado central operando sob compressão de vapor. Neste trabalho, será comparado o desempenho deste ciclo com o ciclo de absorção.

Um sistema de absorção é considerado como uma melhor alternativa quando os custos de energia provenientes do gás natural são substancialmente menores do que o custo da energia elétrica, além de apresentar vantagens, como: a menor necessidade de energia elétrica para o funcionamento, instalações silenciosas e sem vibração e a possibilidade de se utilizar calor gerado em uma turbina a gás para seu funcionamento, que pode também suprir a demanda por energia elétrica da planta acoplando-se geradores elétricos às turbinas (Dorgan, 1995).

No intuito de fazer um melhor aproveitamento energético, pode-se utilizar uma turbina a gás para a geração de energia elétrica e com o calor dos gases de exaustão, resfriar ar para climatização em um processo denominado ciclo de absorção. A este processo dá-se o nome de cogeração, pois com uma única fonte de energia primária, produzem-se duas formas de energia (térmica e elétrica).

Atualmente, o uso de gás natural em sistemas de cogeração de energia tornou-se uma opção interessante para as empresas por uma série de fatores: a maior disponibilidade do gás natural para a geração, maior confiabilidade do sistema, a maior preocupação com o meio ambiente e a possibilidade de venda do excedente de energia elétrica para as concessionárias, de acordo com a reestruturação do setor elétrico.

Com base no custo do gás natural, na tarifação da energia elétrica e na análise de uso de energia feita no software EnergyPlus, será apresentada uma análise econômica da viabilidade de cada sistema.

## 2. Caracterização do sistema

### 2.1. O sistema de climatização e a cogeração

O sistema de climatização, utilizado em grandes hotéis como este que será considerado, sistema de água gelada (figura 1). Neste sistema, água refrigerada circula por tubulações que, com auxílio de um ventilador, troca calor com o ar utilizado para a climatização. Esta água, agora considerada quente é então resfriada em equipamentos denominados resfriadores. Comumente, estes resfriadores são equipamentos movidos por energia elétrica, operando em um ciclo de compressão de vapor. Será analisado aqui a alteração desse resfriador para um que opere em um ciclo de absorção de brometo de lítio (Li-Br), que utiliza calor como fonte de energia.

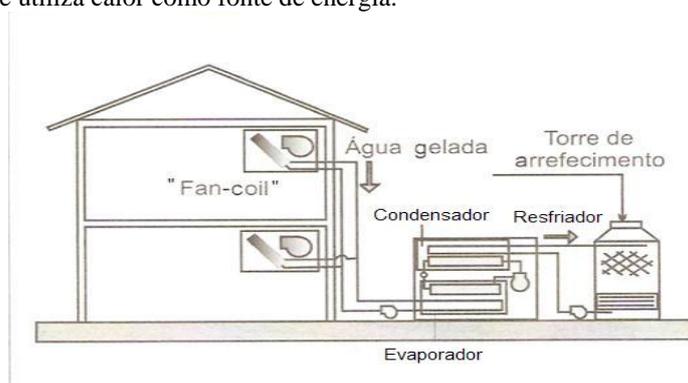


Figura 1 Esquema de um sistema de água gelada (Silva, 2003)

O calor necessário para a operação do resfriador de absorção provém de um gerador de vapor, que queima gás natural. Os gases de exaustão da queima, ainda em temperaturas elevadas, podem ser aproveitados em uma unidade recuperadora para aquecer a água de utilização do hotel, sendo que quando o hotel opera com o resfriador elétrico, o aquecimento de água é feito integralmente com a queima de gás natural. Um fluxograma da instalação com cogeração é ilustrado na figura 2. Optou-se por essa configuração pela sua facilidade em adaptar para outros tipos de cogeração, utilizando por exemplo turbinas a gás para geração de energia elétrica e os gases de combustão alimentando o resfriador e o aquecimento de água.

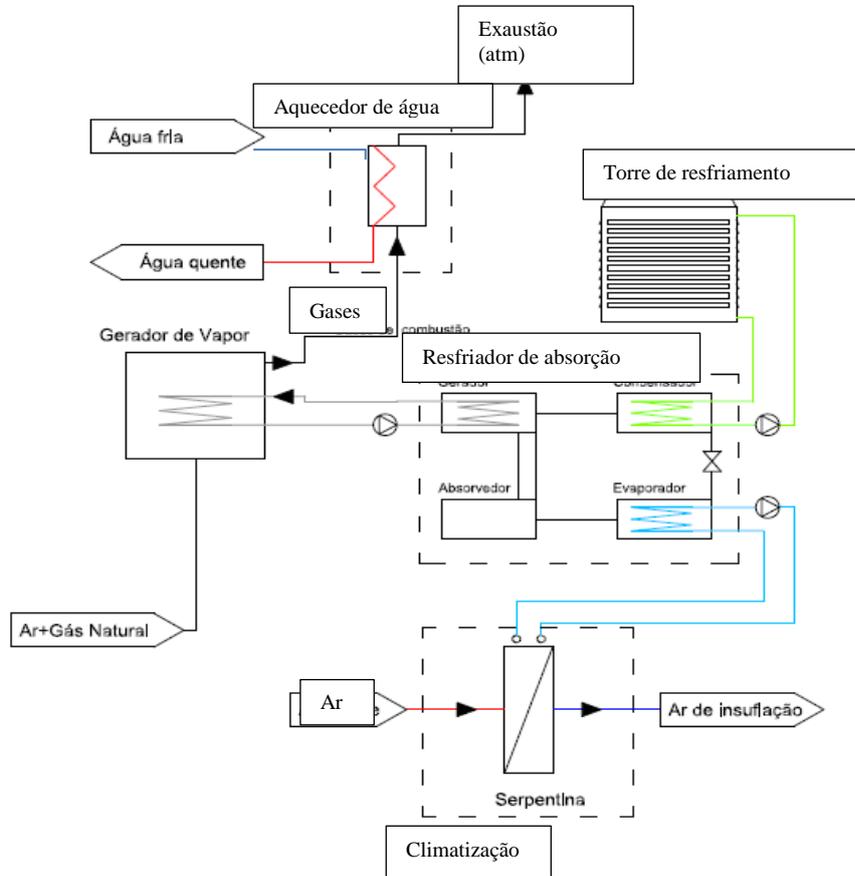


Figura 2 Fluxograma da instalação com cogeração

## 2.2. Resfriadores utilizados

O resfriador elétrico, utiliza a energia elétrica para mover o compressor e assim, o coeficiente de desempenho do ciclo (COP), definido como a relação entre o calor retirado do meio (geração de frio) e a energia gasta para tal fim fica como (Eq. 1), Sonntag et. a., 2003:

$$COP = \frac{Ql}{Wc} \quad (1)$$

Onde  $Ql$  é o calor retirado do meio em kW, e  $Wc$  é o trabalho realizado no compressor, também em kW.

Estes resfriadores apresentam como desvantagem a presença de partes móveis rotativas internas (no compressor), causando ruído em sua operação. Como vantagem desse sistema, a grande aplicação dele barateia os custos e como é movido à energia elétrica é de fácil instalação.

O resfriador de absorção apresenta como entrada de energia a queima de algum combustível (neste caso, gás natural) e aparece ilustrado na figura 3.

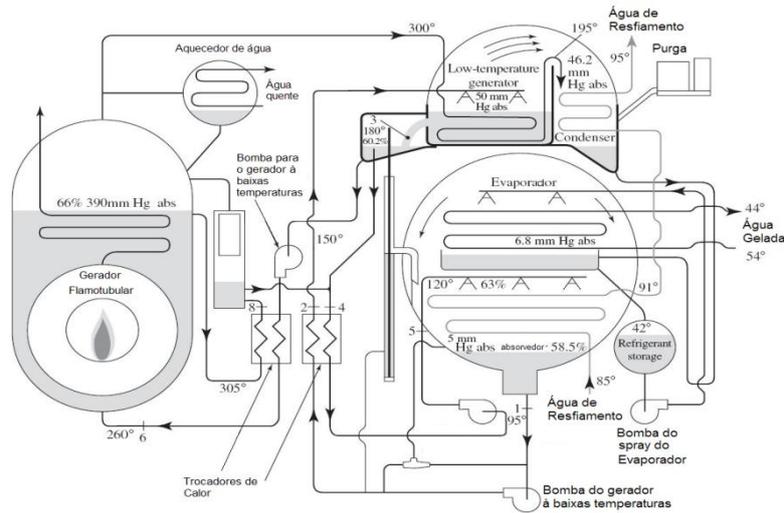


Figura 3 - O resfriador de absorção de Li-Br (Wang, 2000)

Para este ciclo, o coeficiente de desempenho (COP) será (Eq. 2):

$$COP = \frac{Q_l}{Q_e} \quad (2)$$

Onde  $Q_e$  é o calor demandado pelo gerador para uma remoção de calor de meio igual a  $Q_l$ , ambos em kW.

Como vantagens desses resfriadores então a facilidade de serem utilizados em sistemas de cogeração, a ausência de partes internas móveis (portanto, um equipamento mais silencioso) e o menor consumo de energia elétrica para a compressão da solução, por se tratar de uma compressão de líquido, ao passo que no resfriador elétrico comprime-se vapor com um gasto energético maior (o gasto é proporcional ao volume específico do fluido).

Como desvantagem, destaca-se a baixa eficiência (COP), com valores perto de 1,2 enquanto resfriadores elétricos têm COP acima de 4. Essa desvantagem pode ser compensada com a utilização da cogeração e dessa forma aproveitando melhor a energia.

### 2.3 A Norma ASHRAE 90.1

A simulação do hotel neste trabalho será feita com base nas diretrizes da norma americana ASHRAE 90.1, de 2004. Nesta norma estabelecem-se mínimas eficiências de resfriadores, taxas de ocupação e uso de energia, além de características construtivas gerais.

Para resfriadores elétricos, a norma estabelece um mínimo COP de 4,20, enquanto para resfriadores de absorção de duplo-efeito, um COP de 1,0. Considera-se também que o uso de energia elétrica por iluminação seja de 12W/m<sup>2</sup> em quartos e de 11W/m<sup>2</sup> em corredores.

### 2.4. O consumo de água em hotéis

Neste trabalho, a cogeração será caracterizada pelo aproveitamento do calor dos gases de combustão (que inicialmente forneceram energia para o ciclo de absorção) para aquecer a água de utilização dos hóspedes. Dessa forma, a caracterização do consumo de água é necessária para a avaliação e dimensionamento do sistema.

Um estudo em Hong Kong, por Deng e Burnett (2002), define um parâmetro para a avaliação do consumo de água: o WUI (*Water Use index* – Índice de utilização de água). O WUI é a relação entre o consumo anual de água (em m<sup>3</sup>) e a área do hotel (em m<sup>2</sup>).

De acordo com esse estudo, o WUI varia entre 2,1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> e 7,7 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> e é correlacionado com a classificação do hotel (número de estrelas). Os valores médios do WUI para hotéis de três, quatro e cinco estrelas são, respectivamente 3,3 (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>), 4,1 (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>) e 5,1 (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>) sendo fortemente influenciados pela presença de lavanderia no hotel. Além do consumo anual, o estudo mostrou o consumo de água em cada hora do dia, como mostra a figura 4.

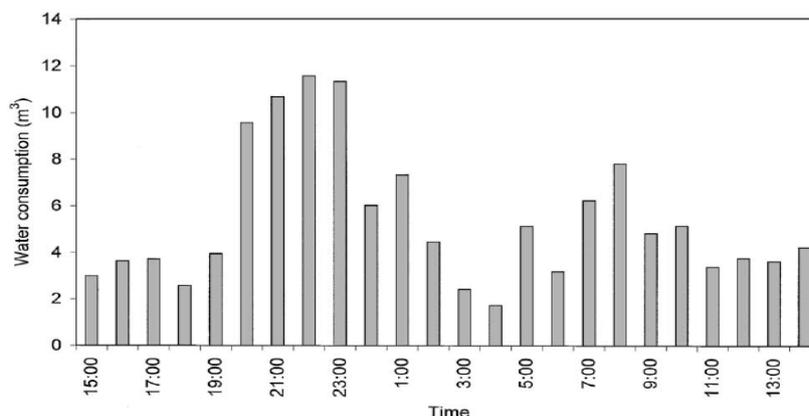


Figura 4 Perfil de consumo de água em hotéis, Deng e Burnett (2002)

### 3. Materiais e métodos

#### 3.1 O Software EnergyPlus

Para a simulação do hotel será utilizado o aplicativo EnergyPlus. O seu funcionamento se baseia em balanços térmicos com dados climáticos de uma região, carga térmica interna (luz, ocupação e equipamentos) e carga de climatização. Como saída do programa, pode-se obter a temperatura interna das zonas, consumo e o custo da energia demandada, entre outras.

Além dos dados climáticos, o software utiliza a posição do edifício no planeta para calcular a radiação solar e com base na posição do sol determinar a carga térmica de radiação atuante sobre ele.

Define-se no programa então a geometria do edifício a ser simulado, com auxílio de outros softwares (Google SketchUp e OpenStudio), adicionando também dados termo-físicos dos materiais de cada parede, teto, piso e janelas e dividindo o andar em zonas climáticas com controles independentes. Dados de ocupação, iluminação e uso de equipamentos elétricos são então inseridos podendo inclusive serem variantes no tempo (menu Schedule).

Com todos esses dados inseridos no programa, é possível simular o comportamento do sistema, avaliando a demanda por climatização e o consumo de energia elétrica para dias típicos de verão (carga térmica mais elevada para o estudo em São Paulo) e para o ano inteiro de trabalho.

#### 3.2 O andar típico

O hotel considerado é localizado na cidade de São Paulo e possui 19 andares de mesma planta baixa. A planta baixa do hotel que será considerada está ilustrada na Fig. 5:

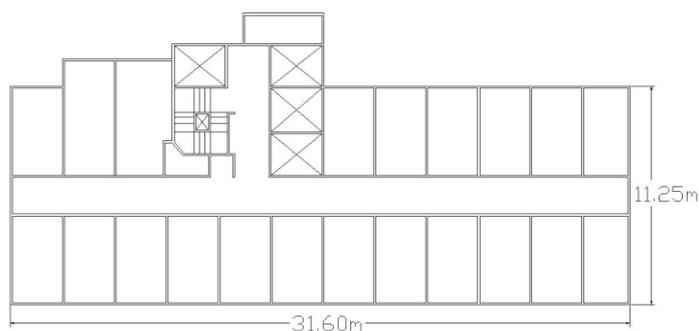


Figura 5 Planta baixa do hotel

Dessa maneira, as zonas térmicas utilizadas no programa serão consideradas como na Fig. 5, em que as zonas “12apt”, “6apt” e “3apt” serão climatizadas e a zona “corredor” não será climatizada.

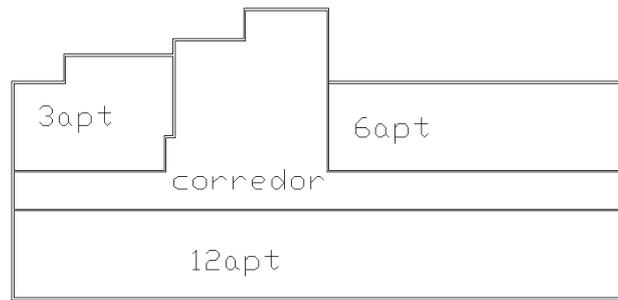


Figura 5 Zonas Térmicas

Uma vista do andar gerada pelo aplicativo Google SketchUp é mostrada a seguir na Fig. 6:

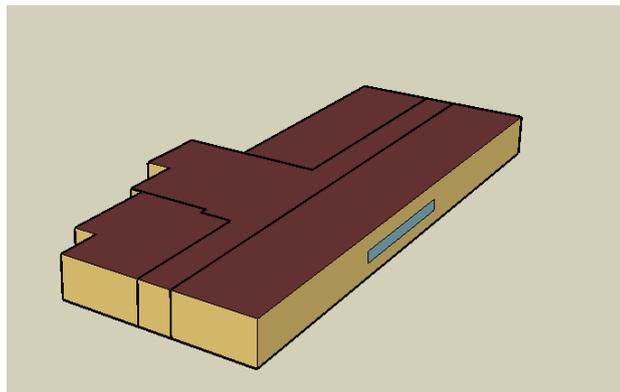


Figura 6 Vista do andar no google SketchUp

A simulação será feita a partir dos seguintes dados de valores máximos:

Ocupação: será considerada uma taxa de ocupação de 2 pessoas por quarto, portanto 6 pessoas na zona 3apt, 12 pessoas na zona 6apt e 24 pessoas na zona 12apt. O corredor terá uma ocupação de 2 pessoas.

Luzes: serão utilizados os valores citados na norma ASHRAE 90.1, de 12W/m<sup>2</sup> para quartos e 11W/m<sup>2</sup> para corredor

Equipamentos: será considerada uma taxa de utilização de 15W/m<sup>2</sup> nas zonas térmicas dos apartamentos.

O controle da temperatura será feito por meio dos chamados “setpoints” em que se estabelece que a temperatura para proporcionar conforto térmico será de no máximo 24°C

O consumo de água de um hotel de três estrelas é, segundo Deng e Burnett (2002), de 3,3WUI. Para este hotel, portanto, pode-se estimar o consumo de 24303m<sup>3</sup> anuais. O perfil de consumo é mostrado na figura 7, onde o consumo máximo é de 6m<sup>3</sup>/h e considera-se que 80% da água utilizada será aquecida a 36°C.

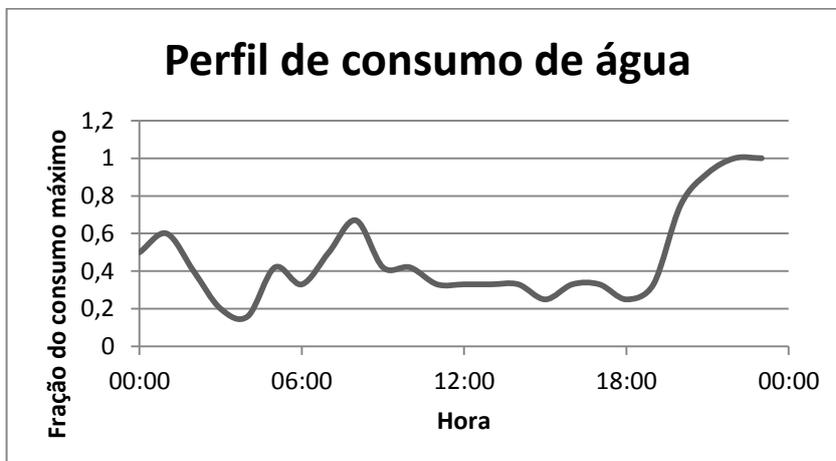


Figura 7 Perfil de consumo de água no hotel

#### 4. Resultados

Com base nos dados climáticos da cidade de São Paulo, tomando o dia típico de trabalho com uma temperatura máxima de 31,5°C e da caracterização do hotel anteriormente descrita pode-se apresentar os seguintes resultados das simulações,

- Temperatura das zonas térmicas

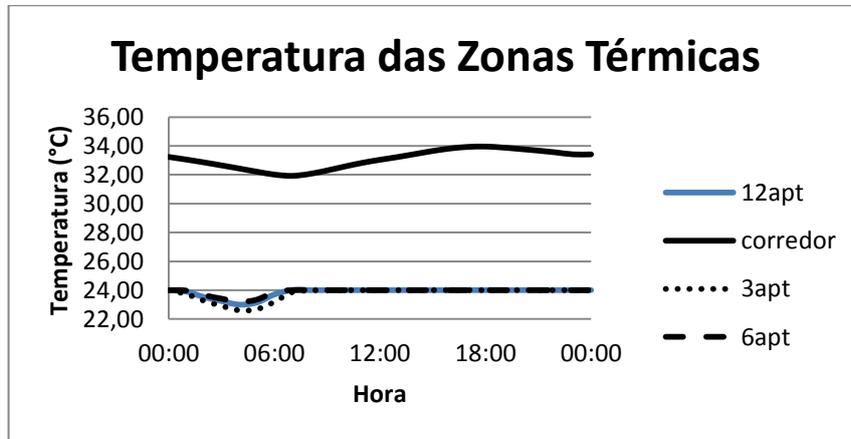


Figura 8 Temperatura das zonas térmicas

- Consumo de energia dos resfriadores (em um dia típico):

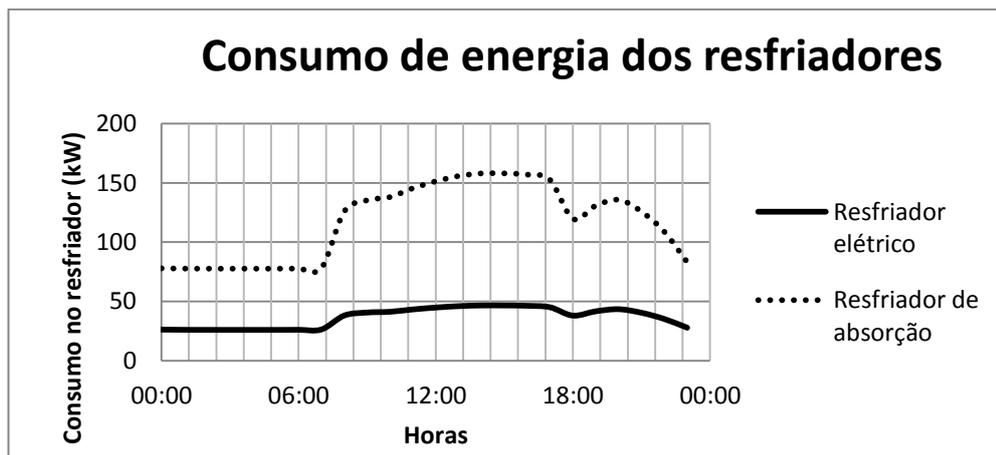


Figura 9 Consumo mensal de energia dos resfriadores

- Calor necessário para aquecer a água

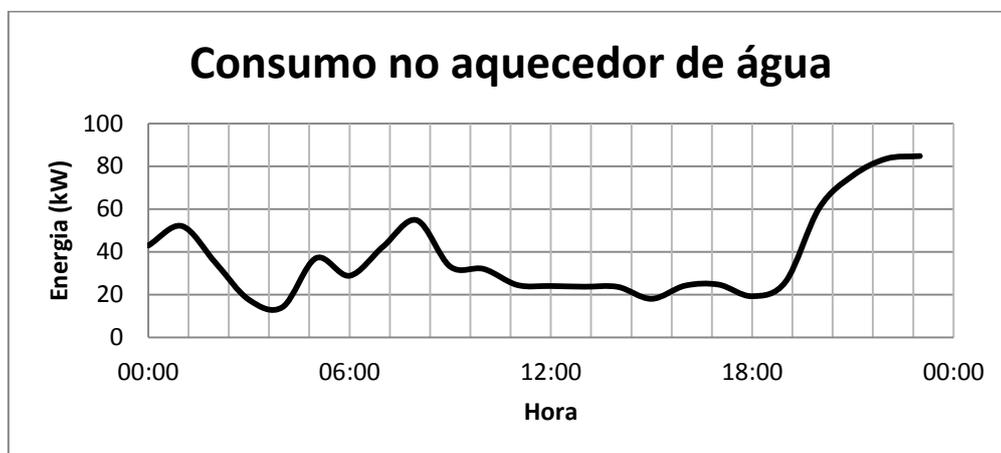


Figura 10 Calor necessário para aquecer a água

- Comparação entre a temperatura dos gases de exaustão (saída do gerado de vapor para o ciclo de absorção) e o calor aproveitado:

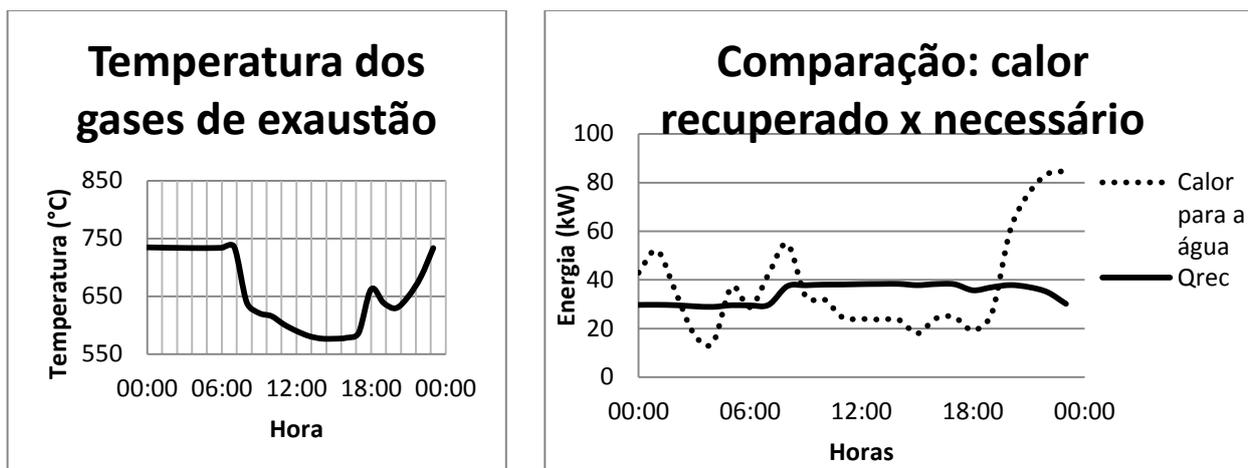


Figura 11 Aproveitamento de calor para o aquecimento de água (onde Qrec é o calor recuperado)

Em uma simulação anual, o consumo mensal de energia é dado na tabela 1, onde se calculou o calor recuperado por dia e a possível queima suplementar de gás natural para aquecimento de água na situação com cogeração.

Tabela 1 O consumo mensal de energia

	Hotel+ resfriador elétrico		Hotel+ resfriador de absorção	
	Consumo elétrico kWh	Consumo gás natural m <sup>3</sup> de gás natural	Consumo elétrico kWh	Consumo gás natural m <sup>3</sup> de gás natural
jan	83753	4718	64470	10599
fev	75431	4240	58184	9466
mar	82004	4979	64245	10290
abr	77830	5188	61669	9793
mai	78315	5954	63480	10005
jun	74692	5980	61098	9565
jul	77489	6157	63148	9922
ago	76773	6386	62968	9935
set	74756	5927	60963	9526
out	80972	5415	63901	10248
nov	78237	5183	61903	9864
dez	82448	4978	64173	10429
<b>Total</b>	<b>942700</b>	<b>65104</b>	<b>750203</b>	<b>119642</b>

Finalmente para obter o custo da energia foram utilizados dados da ANEEL para calcular o preço do quilowatt-hora (0,29651R\$/kWh) e dados da Comgás para o gás natural (R\$2766,07 + R\$1,536134 X C, onde C é o consumo em m³/mês). Assim, o custo da energia é dado na tabela 2:

Tabela 2 Custo da energia (mensal)

	<b>Hotel+ resfriador elétrico</b>		<b>Hotel+ resfriador por absorção</b>	
	Custo - energia elétrica R\$	Custo - Gás natural R\$	Custo - energia elétrica R\$	Custo - Gás natural R\$
<b>jan</b>	24834	10014	19116	19048
<b>fev</b>	22366	9279	17252	17308
<b>mar</b>	24315	10414	19049	18573
<b>abr</b>	23077	10735	18285	17809
<b>mai</b>	23221	11912	18822	18135
<b>jun</b>	22147	11952	18116	17459
<b>jul</b>	22976	12224	18724	18007
<b>ago</b>	22764	12576	18671	18028
<b>set</b>	22166	11871	18076	17399
<b>out</b>	24009	11084	18947	18508
<b>nov</b>	23198	10727	18355	17919
<b>dez</b>	24447	10413	19028	18786
<b>Total</b>	279520	102774	222443	186552

E o consumo anual de energia, discriminado por categoria de utilização e normalizado para kWh é (tabela 3):

Tabela 3 Consumo anual de energia

	<b>Hotel + resfriador elétrico</b>	<b>Hotel + resfriador por absorção</b>
	kWh	kWh
<b>Resfriador</b>	181165	638515
<b>Bombas</b>	58734	58296
<b>Rejeição de calor</b>	5770	8016
<b>Ventiladores</b>	56511	43372
<b>Iluminação</b>	409283	409283
<b>Equipamentos</b>	231236	231236
<b>Total</b>	942700	1388717
<b>Específico (kWh/m²)</b>	128	189

## 5. Análise dos resultados

Analisando os resultados das simulações pode-se perceber o efetivo controle da temperatura nas zonas climatizadas e comparando a energia demandada em cada resfriador pela figura 9 nota-se a coerência entre o que se esperava e o que se obteve de um resfriador por absorção: demanda muito mais energia para a mesma remoção de carga térmica.

Na simulação anual, constatou-se que o uso de energia por unidade de área do hotel é de 136kWh/m<sup>2</sup> quando se utiliza o resfriador elétrico e de 206kWh/m<sup>2</sup> ao se utiliza o resfriador por absorção. Esses resultados são condizentes com o que foi levantado por Priyadarsini, Xuxhao e Eang (2009) em estudo sobre hotéis em Singapura, onde foi mostrado que hotéis três estrelas têm em média um uso de energia por unidade de área entre 200 e 300kWh/m<sup>2</sup>.

Comparando-se os custos das duas situações propostas no trabalho (tabela 2), percebe-se que a cogeração, para os dados utilizados, não é economicamente viável. Este resultado pode ser explicado pelo alto COP do ciclo de resfriador elétrico: o custo mais baixo do gás natural não compensa o baixo consumo de eletricidade, ainda que mais cara, do resfriador elétrico.

Além desse fator, a economia de combustível que é feita ao aproveitar o calor residual dos gases para aquecimento de água não apresenta impacto significativo no balanço final dos custos pois a participação do gás natural no custo anual já era relativamente baixa (30%).

Sendo assim pode-se concluir que esta configuração de cogeração não teve o efeito de redução de custos desejado, mas pode servir como base para futuras análises, como por exemplo, a utilização de microturbinas a gás para geração de eletricidade e os gases de exaustão para a alimentação do ciclo de absorção e o aquecimento de água.

## 6. Referências

- ANEEL, site, <http://aneel.gov.br>, acesso em 3 nov. de 2010.
- ASHRAE STANDARD, ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2004 Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings, American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc., 2004.
- COMGÁS, site, <http://www.comgas.com.br>, acesso em 3 de nov. de 2010.
- DENG, S.M., BURNETT, J., Water use in hotels in Hong Kong, Department of Services Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, SAR, Kowloon, Hong Kong, 2002.
- DORGAN, C. B., LEIGHT, S. P e DORGAN, C. E., Application guide for Absorption Cooling/Refrigeration using Recovered Heat, American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc., 1995.
- PIMENTA, J. M. D. e SANTOS, R. O., Modelagem e Simulação de Ciclos de Absorção de Simples Efeito, Brasília, DF.
- PRIYADARSINI, R., XUCHAO, W. e EANG, L. S., A Study on Energy Performance of Hotel Buildings in Singapore, mar. 2009.
- SILVA, J. G., Introdução à Tecnologia da Refrigeração e da Climatização, 1ª Ed., Artliber Editora, São Paulo, 2003.
- SONNTAG, R. E., BORGNAKKE, C., WYLEN, G. J. V., Fundamentos da Termodinâmica, tradução da 6ª edição americana, 6ª Ed., Editora Edgard Blucher, São Paulo, 2003.
- WANG, S. K., Handbook of Air Conditioning and Refrigeration, 2ª Ed., McGraw-Hill, New York, 2000.

## 7. Direitos autorais

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

### IMPLEMENTATION OF A COGENERATION SYSTEMS IN AN ECONOMIC HOTEL

**Bruno do Val Jorge dos Santos**

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

brunodovaljorge@gmail.com

**Abstract.** *The purpose of this paper is to study the use of cogeneration systems in a typical hotel located on the city of São Paulo. This system is characterized by replacement of the traditional electric resfriador for a lithium bromide absorption resfriador that burns natural gas as energy input. The exhaustion gas is used to heat water for domestic use. The hotel was simulated on the EnergyPlus software for a year's work of this hotel. The simulation provided data such as monthly power consumption of the building showing where the consumption takes place. Thus, it was possible to compare the energy use depending on the type of cooling used where it was found that this type of cogeneration is not economically feasible for the configuration studied.*

**Keywords.** *cogeneration, hotels, HVAC, absorption, lithium bromide.*