

AVALIAÇÃO ENERGÉTICA DE UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO UTILIZANDO GÁS DE ATERRO E GÁS NATURAL

ENERGY EVALUATION OF AN ABSORPTION REFRIGERATION SYSTEM USING SANITARY LANDFILL GAS AND NATURAL GAS

Celso Luiz da Silva

Professor do Departamento de Engenharia Mecânica, FEB-UNESP. Endereço: Rua Engenheiro Luiz Edmundo C. Coube, 14-01, Bairro Vargem Limpa, Bauru, SP. CEP: 17033-360. Fone: (14) 3103-6119, E-mail: celsos@feb.unesp.br

Heloisa Beatriz Cordeiro Moreira

Pós-Graduada em Engenharia Mecânica, FEB-UNESP. Endereço: Rua Profeta Daniel, 198, Bairro Maraponga, Fortaleza, CE. CEP: 60710-695. Fone: (85) 3495-8823, E-mail: hcmoreira@sfiec.org.br

RESUMO

O desenvolvimento tecnológico atual fez da refrigeração por absorção uma alternativa econômica e ambiental em comparação ao ciclo de compressão de vapor, possuindo como vantagem a utilização de energia térmica, que é menos nobre. Resfriadores (chillers) de absorção são extensamente utilizados em indústrias de ar condicionado, em parte porque eles podem ser acionados através de água quente, vapor, queima do gás natural, energia solar, biomassa, dentre outros, em vez de eletricidade. Estes sistemas permitem reduzir os picos de demanda elétrica e equilibrar assim o balanço de demanda energética. Este trabalho tem como objetivo principal simular um ciclo de refrigeração por absorção com solução de brometo de lítio-água utilizando biogás de aterro sanitário e misturas deste com gás natural. Os resultados mostraram a viabilidade energética do sistema queimando biogás e suas misturas com gás natural no gerador, quando comparada com equipamentos que utilizam combustíveis tradicionais (gás natural, óleo diesel, dentre outros), para acionamento de equipamentos de resfriadores comerciais com capacidade de refrigeração de 15 kW e temperatura da água na entrada de 14°C e na saída de 7°C.

Palavras-chave: Biogás de aterros sanitários, Refrigeração por absorção, Gás natural, Sistema Brometo de Lítio-Água.

ABSTRACT

The current technological development made by the absorption refrigeration system is an economic and ambient alternative in comparison to the vapor cycle, possessing an advantage that uses thermal energy that is less noble. Chillers of absorption are used widely in the air conditioned industries, because they can be set in motion through hot water vapors that burn natural gas, solar energy, biomasses amongst others instead of electricity. These systems allow it to reduce the tips of electric demand and balance the rocking of energy demand. This work has had a main objective to simulate a absorption refrigeration cycle with lithium-water bromide solution using biogas of sanitary landfill, and mixtures of this with natural gas. These results shown to the energy viability of the system burning biogas and its mixtures with natural gas in the generator, when compared with equipments that uses traditional fuels (natural gas, oil diesel, amongst others), for operation the commercial chillers with 15 kW of the refrigeration capacity and temperature of the water in the entrance of 14°C and the exit of 7°C.

Keywords: Sanitary landfill gas, Absorption refrigeration, Natural gas, Lithium Bromide-Water system

1 – INTRODUÇÃO

Considerações econômicas e ambientais trouxeram um novo interesse nos sistemas de refrigeração alimentados por uma fonte de calor. Um esforço considerável de pesquisa tem sido investido no estudo de sistemas de refrigeração deste tipo nos últimos anos.

Sistemas de refrigeração por absorção apresentam-se como alternativa para os sistemas de compressão de vapor, possuindo como vantagem a utilização de energia térmica, que é menos nobre, substituindo uma parte da energia elétrica necessária para obtenção do efeito desejado. Resfriadores (chillers) de absorção são extensamente utilizados em indústrias de ar condicionado, em parte porque eles podem ser acionados através de água quente,

vapor, queima do gás natural, energia solar, biomassa, dentre outros, em vez de eletricidade.

Os principais componentes dos resfriadores de absorção são: gerador, absorvedor, condensador e evaporador, requerendo em algumas situações uma torre de resfriamento de água adicional para remover calor e manter as temperaturas desejáveis no absorvedor e no condensador.

O ciclo de absorção é similar em certos aspectos ao ciclo de compressão de vapor. Um ciclo de refrigeração irá operar com: condensador, válvula de expansão e evaporador, se o vapor de baixa pressão do evaporador puder ser transformado em vapor de alta pressão e entregue ao condensador. O sistema de compressão de vapor usa um compressor para esta tarefa. O ciclo de compressão de vapor é descrito como um ciclo operado a trabalho por que

a elevação da pressão do refrigerante é conseguida por um compressor que requer trabalho. O ciclo de absorção, por outro lado, opera com fornecimento de calor que libera o vapor do líquido de alta pressão. Embora a bomba usada para circulação da solução existente no equipamento de refrigeração por absorção seja acionada eletricamente, a quantidade de energia para uma dada quantidade de refrigeração é mínima, comparada com aquela que seria necessária no ciclo de compressão de vapor.

Uma fonte de energia térmica importante para o refrigerador por absorção se faz pela combustão do gás natural (GN), um combustível que vem aumentando sua importância na matriz energética nacional. O gás natural, oriundo das refinarias de petróleo, era tido como subproduto de processo e utilizado como fonte de energia auxiliar ou simplesmente queimado. Em outras situações o gás natural proveniente da prospecção de petróleo era queimado nas próprias plataformas.

Podemos mencionar ainda como fonte térmica à possibilidade de utilização do gás de aterro sanitário (biogás). A geração do gás de aterro é o resultado da decomposição da matéria orgânica, Catanhede, G. (1979) e Silva *et al.* (1997), presente em elevada porcentagem nos resíduos sólidos urbanos, sob condições anaeróbias, que ocorre depois que os resíduos são depositados em aterros. O maior componente gerado na decomposição dos resíduos é de gás metano (CH₄) que é um combustível gasoso com bom poder calorífico.

O ciclo de absorção brometo de lítio-água funciona com a água como líquido refrigerante e o brometo de lítio na função de fluido portador. O sistema LiBr + H₂O é quase exclusivamente utilizado para aplicações de condicionamento de ar. Tem numerosas vantagens tais como: alta entalpia de vaporização, não necessita retificação, não é tóxico e nem perigoso.

1.1 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivos principais:

- determinação dos parâmetros fundamentais do balanço de massa da reação de combustão através dos softwares Combust/Comin do gás natural puro, biogás de aterro sanitário e misturas desses dois gases em condições estequiométricas;
- avaliação do potencial energético do biogás puro e suas misturas com gás natural visando sua utilização em sistemas de refrigeração por absorção com solução de brometo de lítio-água.
- simulação, através do software EES (*Engineering Equation Solver*), Klein, S.A. (2003), de um ciclo de refrigeração por absorção com capacidade frigorífica variando entre 18 e 70 kW utilizando como fonte de calor: gás natural, biogás de aterro sanitário e suas misturas, comparando com equipamentos comerciais que utilizam combustíveis tradicionais (GN, óleo diesel, dentre outros).

2 – METODOLOGIA

Na avaliação energética do ciclo de refrigeração por absorção utilizou-se o software EES para obtenção de

dados termodinâmicos da solução e simulação do desempenho do sistema de absorção. O software analisa o ciclo, estimando as trocas de calor, temperaturas de operação e eficiência.

Como fontes de energia térmica no sistema foram utilizadas gás natural e biogás de aterro sanitário. Para determinar os parâmetros fundamentais do balanço de massa da reação de combustão destes combustíveis, utilizou-se o software Combust/Comin, Barreras e Pujol, (1996). A composição do gás natural: CH₄ – 80%; C₂H₆ – 14%; N₂ – 2%; CO₂ – 2%; SO₂ – 2% e O₂ – 0% segundo os mesmos autores, foi utilizada como dado de entrada para o programa, que utiliza o método da combustão completa permitindo trabalhar com queima estequiométrica ou com excesso de ar, e misturas gasosas de diversos componentes.

A composição do biogás de aterro foi obtida do trabalho de Braz (2002), que considerou o gás já tratado, sem a presença de SO₂ ou umidade, ver Tabela 1, que também inclui o excesso de ar de combustão.

Tabela 1. Dados de Entrada para Cálculo de Combustão com o Programa WinComb, Braz (2002).

Fração molar de CO ₂	48%
Fração molar de CH ₄	52%
Excesso de ar	7%

Determinou-se o poder calorífico do gás natural puro, biogás de aterro sanitário puro e suas misturas. Com estes dados, verificou-se a aplicabilidade em sistemas de refrigeração comerciais. Para o estudo foi utilizado o sistema de refrigeração por absorção com trocador de calor, Figura 1.

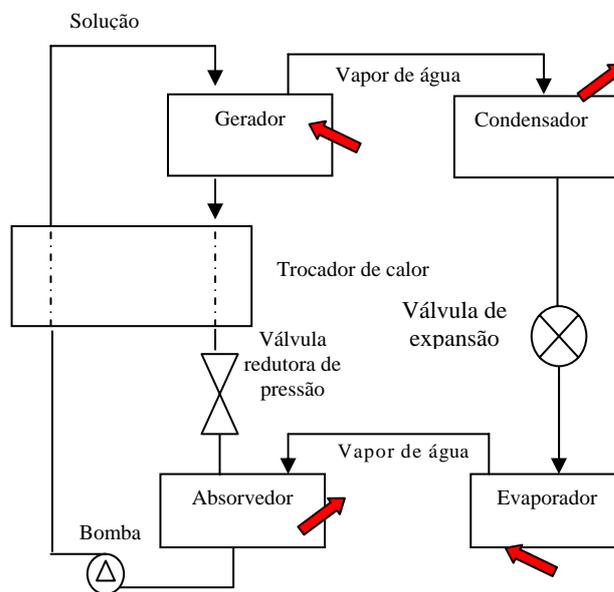


Figura 1. Esquema do Ciclo de Absorção Básica, Stoecker (1985).

Na simulação utilizaram-se, também, informações de catálogos de equipamentos comerciais, principalmente dos resfriadores de líquido da empresa BROAD (2006).

Um modelo de cálculo para simular o desempenho do sistema de absorção LiBr + H₂O foi desenvolvido.

Realizaram-se um balanço de massa e de energia em cada componente do ciclo, avaliando as trocas de calor, temperaturas de operação e eficiência do sistema. A estrutura do modelo é mostrada no diagrama de blocos da Figura 2.

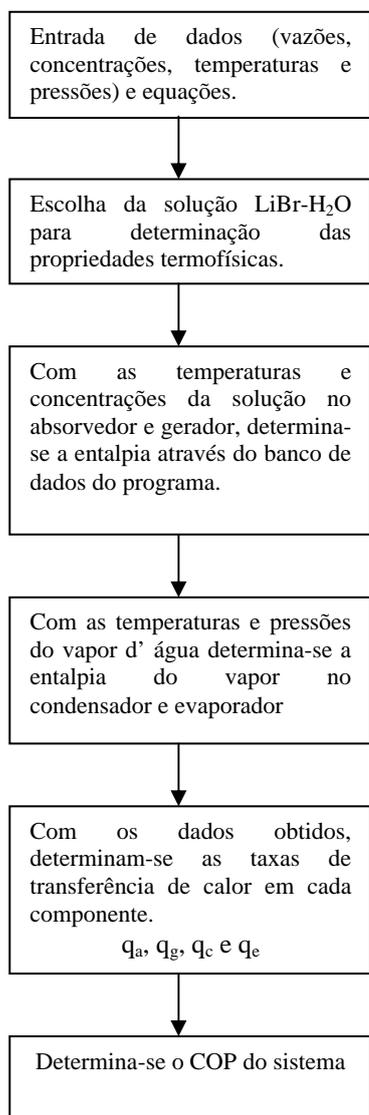


Figura 2. Diagrama de Blocos da Simulação do Sistema de Absorção LiBr + H₂O pelo EES.

As equações de (1) à (14) foram utilizadas no Balanço de Massa e Energia em cada componente do Ciclo, Pimenta, J.M.D. (2004).

- Gerador

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 + \dot{m}_5 \quad (1)$$

$$\dot{m}_2 h_2 + \dot{q}_g = \dot{m}_3 h_3 + \dot{m}_5 h_5 \quad (2)$$

$$\dot{m}_g h_{g1} = \dot{m}_g h_{g3} + \dot{q}_g \quad (3)$$

- Condensador

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_6 \quad (4)$$

$$\dot{m}_5 h_5 = \dot{m}_6 h_6 + \dot{q}_c \quad (5)$$

$$\dot{m}_c h_{c1} + \dot{q}_c = \dot{m}_c h_{c2} \quad (6)$$

- Evaporador

$$\dot{m}_7 = \dot{m}_6 \quad (7)$$

$$\dot{m}_6 h_6 + \dot{q}_e = \dot{m}_7 h_7 \quad (8)$$

- Absorvedor

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_4 + \dot{m}_7 \quad (9)$$

$$\dot{m}_1 X_1 = \dot{m}_4 X_4 \quad (10)$$

$$\dot{m}_4 h_4 + \dot{m}_7 h_7 = \dot{m}_1 h_1 + \dot{q}_a \quad (11)$$

$$\dot{m}_2 + \dot{m}_4 = \dot{m}_1 + \dot{m}_3 \quad (12)$$

- Trocador de Calor

$$\dot{m}_3 h_3 = \dot{m}_4 h_4 + \dot{q}_t \quad (13)$$

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{q}_t = \dot{m}_2 h_2 \quad (14)$$

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a utilização do programa Combust, obteve-se os parâmetros fundamentais do balanço de massa da reação de combustão de acordo com a composição dos combustíveis, conforme apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros Fundamentais da Reação de Combustão.

PARÂMETRO	GN PURO	BIOGÁS PURO	MISTURA
Composição	CH ₄ - 0,80	CH ₄ - 0,52	CH ₄ - 0,688
	C ₂ H ₆ - 0,14	CO ₂ - 0,48	C ₂ H ₆ - 0,084
	N ₂ - 0,02		N ₂ - 0,012
	CO ₂ - 0,02	Excesso de	CO ₂ - 0,204
	SO ₂ - 0,02	ar - 7%	SO ₂ - 0,012
	O ₂ - 0,0		O ₂ - 0,0
			Excesso de ar - 7%
Relação molar (kmol vapor úmido) / kmol de gás	11,023	6,299	9,551
Relação molar (kmol vapor seco) / kmol de gás	9,003	5,259	7,923
PCI (MJ / Nm ³)	37,595	18,583	29,990

Com o poder calorífico inferior (PCI) dos combustíveis gasosos obtidos, verificou-se a viabilidade de sua utilização em equipamentos de refrigeração por absorção comercial. A Tabela 3 apresenta os resultados, variando o percentual de gás natural e biogás na mistura. Observa-se que existe uma proporcionalidade entre a

percentagem de biogás e o PCI da mistura, e ainda, que a disponibilidade energética da mistura se reduz à medida que cresce a quantidade de biogás, Figura 3.

Tabela 3. PCI da Mistura dos Combustíveis.

Biogás na Mistura (%)	PCI do Biogás (kJ/Nm ³)	GN na Mistura (%)	PCI do Gás Natural (kJ/Nm ³)	PCI da Mistura (kJ/Nm ³)
-	-	100	37618	37618
10	1859	90	33859	35718
20	3718	80	30095	33817
30	5577	70	26335	31912
40	7440	60	22571	30010
50	9299	50	18811	28106
60	11158	40	15047	26205
70	13017	30	11288	24304
80	14876	20	7524	22399
90	16735	10	3764	20499
100	18594	-	-	18594

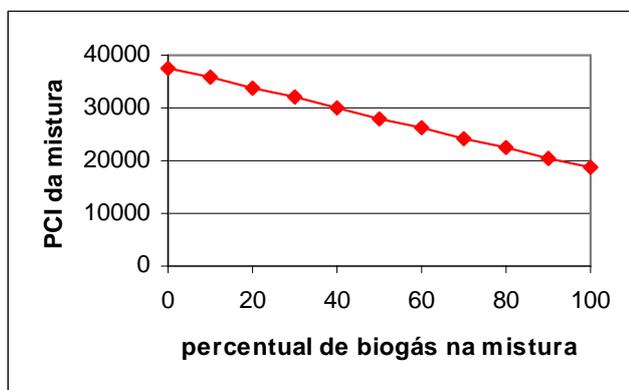


Figura 3. PCI em Função do Percentual de Biogás.

A Tabela 4 apresenta o fluxo do combustível necessário para obtenção de capacidade de resfriamento variando de 18 a 70 kW (5 a 20 TR), considerando gás de aterro puro e algumas misturas com gás natural e dados de consumo de equipamentos comerciais. À medida que aumenta a concentração de gás natural na mistura o fluxo necessário para cada capacidade de resfriamento decresce em virtude do aumento do poder calorífico da mistura. Na simulação com o software EES, utilizou-se dados de entrada como temperatura, vazão, pressão em cada componente, de equipamentos da empresa fabricante BROAD (2006), complementados com dados da literatura específica, ASHRAE (1993) e Stoecker (1985). Por exemplo, para o Modelo BTC 16, obteve-se a taxa de transferência de calor no gerador (q_g) igual a 40,21 kW.

Tabela 4. Fluxos dos Combustíveis Gasosos (Nm³/h).

Potência (kW)	100% GN	100% Biogás	Mistura 50%GN 50%Biogás	Mistura 60%GN 40%Biogás	Mistura 70%GN 30%Biogás
18	1,69	3,42	2,26	2,12	1,99
35	3,28	6,64	4,39	4,11	3,87
53	4,97	10,06	6,65	6,23	5,86
70	6,56	13,27	8,78	8,22	7,73

Na simulação com o software EES, utilizou-se dados de entrada como temperatura, vazão, pressão em cada componente, de equipamentos da empresa fabricante BROAD (2006), complementados com dados da literatura específica, ASHRAE (1993) e Stoecker (1985). Por exemplo, para o Modelo BTC 16, obteve-se a taxa de transferência de calor no gerador (q_g) igual a 40,21 kW.

A Tabela 5 apresenta a vazão volumétrica necessária para a mescla de combustíveis (GN e Biogás) para essa quantidade de energia calculada, q_g , para que se obtenha a quantidade de frio no evaporador do sistema desejado.

Tabela 5. Vazão Volumétrica dos Combustíveis para o Modelo BTC 16, BROAD (2006).

% de Biogás na Mistura	% de Gás Natural na Mistura	PCI da Mistura dos Gases (kJ/Nm ³)	Vazão da mistura (m ³ /h)
-	100	37618	3,850
10	90	35718	4,055
20	80	33817	4,283
30	70	31912	4,539
40	60	30010	4,826
50	50	28106	5,154
60	40	26205	5,527
70	30	24304	5,960
80	20	22399	6,467
90	10	20499	7,066
100	-	18594	7,790

De acordo com dados de catálogos, verifica-se que o consumo de gás natural para o modelo BCT 16 da BROAD (2006) é de 1,5 m³/h, isto é, equivale a uma taxa de transferência de calor no gerador de 15 kW, considerando o poder calorífico do GN de 36006 kJ/Nm³. A Tabela 5 mostra que a vazão volumétrica com 100 % de GN é de 3,85 m³/h que equivale a 40,2 kW, energia essa que seria obtida com 7,79 m³/h de biogás puro, sendo aproximadamente o dobro da vazão do GN.

A Tabela 6 apresenta o fluxo de calor necessário no gerador do sistema em função da capacidade de resfriamento para as várias misturas de gás natural e biogás. Claro está que para uma mesma capacidade de resfriamento, q_g quase não varia, mas o fluxo de gás sofre significativa variação para compensar a variação no PCI, conforme mostrado na Tabela 4.

Tabela 6. Necessidade de Energia no Gerador, q_g (MJ/h).

Potência (kW)	100% GN	100% biogás	50% GN 50% Biogás	60% GN 40% biogás	70% GN 30% biogás
18	63,58	63,59	63,53	63,62	63,51
35	123,39	123,46	123,40	123,34	123,50
53	186,96	187,04	186,93	186,97	187,00
70	246,78	246,74	246,81	246,69	246,68

Por outro lado, de acordo com Silva *et al.* (1997):

- a taxa de aproveitamento do gás de aterro sanitário é da ordem de 150 Nm³ por tonelada de Resíduo Sólido Urbano (RSU), e que,
- uma pessoa gera aproximadamente 0,700 kg/dia;

Tais informações permitem inferir que uma pessoa, através dos resíduos que gera, poderia produzir 0,105 Nm³/dia de biogás, ou 0,004375 Nm³/h.

A Tabela 7 mostra, a título de curiosidade, o número de pessoas que através dos resíduos gerados permitiriam a operação de sistemas de refrigeração por absorção LiBr + Água, operando com 100% de biogás de aterro.

Tabela 7. Relação entre Capacidade de Resfriamento, Fluxo de Biogás e Número de Pessoas.

Capacidade de Resfriamento (TR)	Capacidade de Resfriamento (kW)	Fluxo de Combustível, 100% biogás (Nm ³ /h)	Número de Pessoas
5	18	3,42	782
10	35	6,64	1518
15	53	10,06	2299
20	70	13,27	3033

Com base nessa mesma metodologia, uma cidade de porte médio como Bauru, SP que possui uma população de 380.000 habitantes, e ainda considerando uma fração de captação de 60% do biogás gerado no aterro sanitário, poderia obter-se:

$$380000 \times 0,60 \times 0,004375 = 997,5 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Tal fluxo de gás permitiria a obtenção de 1458 toneladas de refrigeração (TR), que poderiam ser utilizadas para fins de refrigeração de câmaras frigoríficas ou condicionamento de ar para edifícios.

A Tabela 8 apresenta o coeficiente de desempenho (COP) para o ciclo de refrigeração por absorção com solução de brometo de lítio-água com capacidade frigorífica variando entre 5 e 20 TR, obtido através da simulação do programa EES.

A Figura 4 apresenta o coeficiente de desempenho para cada capacidade de resfriamento, variando de 5 a 20 TR.

Tabela 8. COP com Capacidade Frigorífica do Sistema Variando entre 5 a 20 TR.

Capacidade de resfriamento (kW)	Calor no Gerador q _g (kW)	COP
18	139,7	0,1288
35	157,3	0,2226
53	175,8	0,3014
70	193,4	0,3620

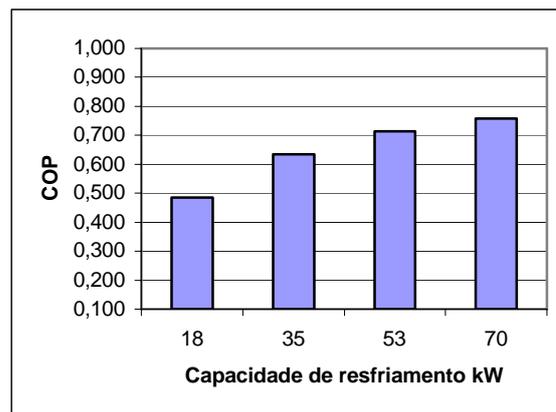


Figura 4. Coeficiente de Desempenho em Função da Capacidade de Resfriamento.

4 – CONCLUSÕES

Em algumas situações, a refrigeração por absorção pode substituir com vantagem os atuais sistemas de refrigeração por compressão de vapor em aplicações residenciais e industriais, por utilizar fontes de calor ao invés de energia elétrica.

O Software *EES* permitiu simular o desempenho do sistema proposto utilizando dados de catálogos e literatura como entrada a fim de comparar os resultados obtidos com equipamentos comerciais. O Software *Comin/Combust* proporcionou o cálculo do poder calorífico dos combustíveis: gás natural e suas misturas com biogás de aterro sanitário obtendo resultados condizentes com a literatura.

A concentração de metano no gás de aterros sanitários depende, entre outros fatores, da quantidade de matéria orgânica no resíduo depositado, fato que pode alterar o poder calorífico das misturas a serem utilizadas como combustível nos queimadores. Em média, o Poder Calorífico Inferior (PCI) do gás de aterro sanitário puro é da ordem de 50% do gás natural. À medida que se aumenta a quantidade de gás natural na mistura o PCI desta aumenta, atingindo valor próximo de 30 MJ/Nm³ quando a relação é de 60% para 40%.

Os resultados mostram que existe viabilidade da utilização do biogás de aterro sanitário puro e suas misturas com gás natural para acionamento de equipamentos de refrigeração (chillers) comerciais com capacidade de resfriamento variando de 5 a 20 TR, e temperatura da água na entrada de 14°C e na saída de 7°C.

Levando-se em consideração que cada habitante na região de Bauru-SP gera aproximadamente 0,700 kg/dia de resíduos, estimou-se o número de pessoas necessárias (Tabela 7) para viabilizar a operação de sistemas de refrigeração por absorção com várias capacidades, tendo como fonte de calor 100% de biogás de aterro.

LISTA DE SÍMBOLOS

- m* – Vazão mássica [kg/s]
- h* – Entalpia [kJ/kg]
- T* – Temperatura [°C; K]
- q_g* – Fluxo de calor no gerador [kW]

q_a – Fluxo de calor no absorvedor [kW]
 q_c – Fluxo de calor no condensador [kW]
 q_e – Fluxo de calor no evaporador [kW]
 X_1, X_2 – Concentração da solução [%]
COP – Coeficiente de performance do sistema [%]
GN – Gás natural
PCI – Poder calorífico inferior

Subscrito

g – gerador
a – absorvedor
c – condensador
e – evaporador
t – trocador de calor

REFERÊNCIAS

ASHRAE – American Society of Heat, Refrigeration and Air Conditioning Engineering; **ASHRAE Handbook** Equipment, 1993.
BARRERAS, A. L. M.; PUJOL, R. O. **La Combustión**, Espanha: Grupo Editorial Ceac S.A., 1996.
BRAZ, J. A. **Aproveitamento energético do gás de aterro sanitário e sua utilização em sistemas de refrigeração por absorção**. Dissertação de mestrado – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2002.
BROAD AIR CONDITIONING. Disponível em: <<http://www.broad.com>>. Acesso em: 30 out. 2006.
CATANHEDE, G. La Recuperacion de gás em los vertederos Controlados. In: Congreso ATEGRUS, 1979, Bilbao. **Anais...** Bilbao, Espanha: [s.n.], 1979.
EES – **Engineering Equation Solver** – *Software*. Disponível em: <<http://fchart.com/ees>>. Acesso em: 30 out. 2006
MEDEIROS, M. R. **Validação experimental de um refrigerador térmico movido a gás natural**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.
MOREIRA, H. L. **Análise termo econômica de sistemas de refrigeração por absorção com o par água-brometo de lítio**. Tese de doutorado - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2004.
MOREIRA, H. B. C.; SILVA, C. L. Potencial energético do biogás de aterro sanitário puro e suas misturas com gás natural. In: Congresso de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável, ICTR-2006, São Pedro, SP. **Anais...** São Pedro, SP: [s.n.], 2006.
MOREIRA, H.B.C.; SILVA, C. L. Simulação de ciclo de refrigeração por absorção LiBr + H₂O utilizando biogás de aterro e gás natural. In: Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 4., 2006, Recife. **Anais...** Recife: [s.n.], 2006.
MOREIRA, H.B.C.; SILVA, C. L. Análise energética do ciclo de refrigeração por absorção com solução de brometo de lítio: água. In: Congresso de ar Condicionado, Refrigeração, Aquecimento e ventilação do MERCOSUL, MERCOFRIO, 2006, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: [s.n.], 2006.
PIMENTA, J. M.D., Simulação e Projeto de Uma Unidade Compacta de Absorção; In: Congresso de ar Condicionado, Refrigeração, Aquecimento e ventilação do MERCOSUL, MERCOFRIO, 2004, Curitiba. **Anais...** Curitiba: [s.n.], 2006.
PORTAL REDE GÁS ENERGIA. Disponível em: <<http://www.gasenergia.com.br>>. Acesso em: 30 out. 2003.
SILVA, C. L.; GARCIA E. V.; CAIS J. A.; QUERALT A. R. **Gás de aterro no aterro sanitário de Bauru/SP: geração e aproveitamento**. Apostila de Curso de Atualização, Bauru: UNESP, 1997.

SILVA, C.L.; BRAZ, J. A. Gás de aterro sanitário como fonte energética de sistemas frigoríficos. In: I Fórum das Universidades Públicas Paulistas de Ciência e Tecnologia em Resíduos, 2003, São Pedro, SP. **Anais...** São Pedro, SP: [s.n.], 2003.
SILVA, C.L.; BRAZ, J. A. Análise energética de sistema de refrigeração por absorção utilizando gás de aterro sanitário. In: I Congresso Iberoamericano de Ciencias y Técnicas del Frío, e III Congreso Español de Ciencias y Técnicas del Frío – CYTEF, 2005. **Anais...** Barcelona, Espanha: CYTEF, 2005.
STOECKER, J. W. Jones. **Refrigeração e ar condicionado**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985.
TEIXEIRA, R. R. **Desenvolvimento de um Gerador Compacto para Unidades de Refrigeração por Absorção**. Relatório de Projeto de Graduação, Departamento de Engenharia, Faculdade de Tecnologia, Brasília: UNB, 2004. 83 p.
TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, A. V. **Integrated Solid Waste Management**. Espanha: McGraw-Hill Interamericana, 1996.

BIOGRAFIA DOS AUTORES

Celso Luiz da Silva

Graduado em Física; Mestrado e Doutorado em Engenharia Mecânica; Professor Livre-Docente e Orientador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia de Bauru – FEB – UNESP; atuação na Área Fluido-Térmica; assuntos de interesse para pesquisa: Combustão e Aproveitamento Energético, Formas Alternativas de Energia e Refrigeração e Ar Condicionado.

Heloisa Beatriz Cordeiro Moreira

Graduada em Engenharia Química pela UFC – Fortaleza-CE; aluna do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível Mestrado da Faculdade de Engenharia de Bauru – FEB – UNESP.