

## **ANÁLISE TERMoeCONômICA DE UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO DE SIMPLES EFEITO COM O PAR ÁGUA – BROMETO DE LÍCIO**

**Paulo Henrique Dias dos Santos**

(\*) Laboratório de Energia Solar(LES) da UFPB, Cidade Universitária -Campus I  
CEP: 58059-900, João Pessoa/PB, (\*), e-mail: paulohenriqueles@uol.com.br

**Carlos A. Cabral dos Santos**

(\*), e-mail: cabral@les.ufpb.br

**Celina Maria Ribeiro Varani**

e-mail: celina@les.ufpb.br

**Hugo Lima Moreira**

(\*), e-mail: hugolimabr@yahoo.com.br

**Alysson de Oliveira Freitas**

(\*), e-mail: alyfreitas@bol.com.br

**Ednildo de Andrade Torres**

Universidade Federal da Bahia - Escola Politécnica/DEQ/Laboratório de Energia  
Rua Aristides Novis, 2 , Federação, Salvador-Ba, CEP: 40210-630  
e-mail: ednildo@ufba.br

**Resumo:** Este trabalho tem como objetivo apresentar uma análise termoeconômica de uma unidade de refrigeração por absorção de simples efeito, que utiliza o par brometo de lítio e água, cuja fonte energética é o gás natural. A unidade analisada foi desenvolvida no Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal da Paraíba (LES/UFPB). O modelo computacional para a presente análise, toma como base os dados fornecidos pelas simulações estabelecidas para as análises energética e exergética do sistema. É feita a identificação dos custos exergéticos e monetários de cada ponto de entrada e saída dos componentes do sistema, bem como da unidade completa de absorção.

**Palavras-chave:** Refrigeração por Absorção, Exergia, Termoeconomia

### **1. INTRODUÇÃO**

Com as preocupações focadas na proteção do meio ambiente é que, nas três últimas décadas, normas mais severas foram estabelecidas através dos protocolos de Montreal (1988) e Kyoto (1997). Com destaque não apenas na pura substituição de refrigerantes halogenados mas, também, no desenvolvimento de formas e tecnologias alternativas para a produção de frio. Dentre as alternativas apresentadas, os sistemas de refrigeração por absorção têm grande atenção tanto no aspecto de análises do ponto de vista térmico como do aproveitamento de fontes energéticas. A utilização em sistemas de cogeração tem sido apontada como a preferência e com sua maior rentabilidade energética e econômica.

Várias foram as análises termodinâmicas apresentadas na literatura energética e exergética (Andrade et al., 2000; Wylen et al., 1995; Bejan et al., 1996; Ng et al., 1997 e Herold, 1996). Mais recentemente, as análises dos Sistemas Térmicos têm sido acompanhadas do enfoque, também, econômico. Assim como o uso efetivo das fontes a análise da efetividade da aplicação dos recursos tem-se tornado igualmente importante e uma necessidade para a otimização dos Sistemas Térmicos. As análises têm sido seguidas pelo enfoque simultâneo da visão termodinâmica e econômica. A análise exergética tem sido usada para a avaliação, com o propósito maior de inserir na análise termodinâmica o conceito de qualidade de energia, não alcançada com a aplicação apenas da primeira lei da termodinâmica (análise energética).

A análise exergética já se constitui em importante referencial para a busca da melhoria dos fabricantes nos equipamentos e em Sistemas através da redução das irreversibilidades detectadas. Em (Kotas, 1985; Szargut et al., 1988 e Tsatsaronis, 1993) podem ser encontradas importantes proposições de metodologia para análise exergética. Aphornratana et al (1995), mostram a influencia da taxa de circulação na irreversibilidade de um sistema de refrigeração por absorção de simples efeito. Ng et al (1998), apresentam um modelo termodinâmico para estudo de sistemas de refrigeração por absorção usando tanto água-brometo de lítio como água-amônia incluindo a temperatura média de processo, nos termos que causam as irreversibilidades internas. Varani et al (2003), apresentam o estudo exergético para um sistema de simples efeito em desenvolvimento com tecnologia local, usando brometo de lítio/água com capacidade variando entre 4 e 17 toneladas de refrigeração. Berlitz et al (1999), apresentam estudos econômicos associados ao modelo termodinâmico para refrigeradores por absorção de duplo efeito usando o par água-brometo de lítio.

A análise termoeconômica, também conhecida como exergoeconômica, tem sido seguida em dois caminhos: o primeiro pode ser descrito como o método que computa os custos, isto é, que usa o custo médio como uma base para a avaliação do preço racional. Esse método inclui a aproximação do custo médio discutido por Hernandez et al (2003). O segundo grupo, descreve como método que emprega os custos marginais afim de minimizar os custos dos componentes ou dos produtos. Esses métodos incluem a análise funcional termoeconômica como apresentado por Erlach et al (1999), que apresentam uma teoria estrutural como padrão e uma formulação matemática comum para todas as metodologias, empregando modelos termoeconômicos que possam ser expressos por equações lineares. Em cada um dos métodos, descritos de forma sucinta, podem ser encontradas vantagens e desvantagens.

Considerando a teoria do custo exergético, uma vez determinados os custos econômicos de todos os fluxos internos e produtos, o processo global pode ser aproximadamente calculado por meio da otimização local em forma sequencial para cada unidade ou volume de controle que compõe o sistema. Contudo, diferentemente das técnicas de otimização baseadas nos modelos matemáticos e programas de simulação, a análise termoeconômica pode, eventualmente, fornecer indicações e sugestões acerca das mudanças estruturais para aumentar as eficiências econômicas e termodinâmicas globais. Hernandez et al (2003), apresentam uma proposta de uso da aproximação do custo médio para otimização termoeconômica, do calor fornecido no gerador do sistema de refrigeração por absorção de simples efeito usando tanto água-brometo de lítio e amônia-água. O trabalho detalha a análise energética, seguida pela determinação do custo médio por unidade de exergia de todos os fluxos da planta de cogeração.

O presente trabalho apresenta a utilização da teoria do custo exergético ao sistema de refrigeração por absorção, usando água-brometo de lítio de simples efeito, operando na faixa de 4 à 17 toneladas de refrigeração desenvolvido no Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal da Paraíba, apresentada na Fig. (1).

## **2. FORMULAÇÃO DA ANÁLISE EXERGOECÔNÔMICA DA UNIDADE**

Para a análise são feitas as seguintes hipóteses simplificadoras propostas por Misra et al.(2002):

- A solução de brometo de lítio e água, tanto no gerador quanto no absorvedor, é assumida estar em equilíbrio nas suas respectivas temperaturas e pressões;

- O refrigerante na saída do condensador e do evaporador está no estado de saturação;
- A solução concentrada na saída do gerador e a solução diluída na saída do absorvedor são consideradas saturadas;
- O trabalho da bomba de recirculação da solução é desprezível;
- O sistema opera em regime permanente;
- As temperaturas do gerador, condensador, evaporador e absorvedor são uniformes nos componentes.

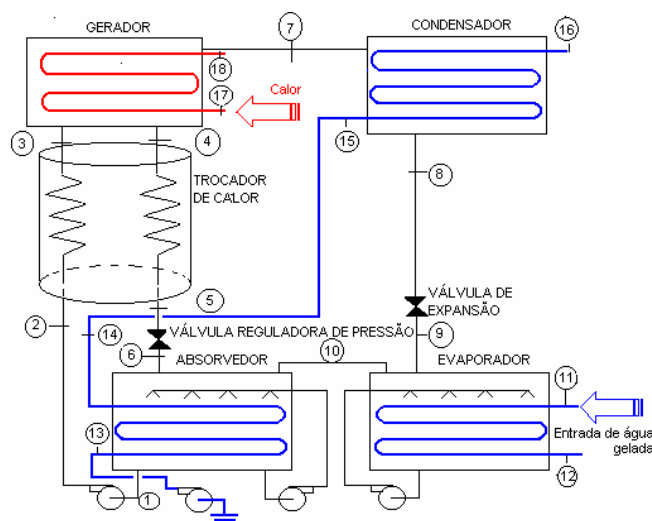


Figura 1 - Diagrama esquemático da unidade de refrigeração por absorção usando brometo de lítio e água, de simples efeito, desenvolvida no Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal da Paraíba.

O modelo exerético faz uso das idéias e das equações utilizadas no modelo energético, acrescentando os balanços para a conservação de exergia e a equação para a avaliação da irreversibilidade. Os conceitos são aplicados em cada componente do sistema para a análise.

Todos os processos reais são, naturalmente, irreversíveis considerando os seguintes fatores: Atrito mecânico; perdas externas devido à taxa de transferência de calor finita entre os trocadores de calor e os reservatórios externos; perdas internas devidas à transferência de calor e massa; perdas internas devidas à perda de carga nos tubos e estrangulamento; perdas devido à transferência de calor para/do ambiente. O método endoreversível não é capaz de realizar um diagnóstico, predição e otimização desses tipos de sistema, porque considera somente as perdas externas como visto em Gordon et al (1995) e em Chua et al (1997). Somente recentemente é que as perdas internas foram explicitamente incorporadas nos modelos analíticos termodinâmicos, demonstrado por Gordon et al (1995), Chua et al (1997) e Ng et al (1997). Esses estudos identificam qual o máximo, real e possível, melhoramento do desempenho do sistema que pode ser feito quando, nem os seus componentes nem a tecnologia podem ser modificados. Portanto a aplicação da segunda lei da termodinâmica, se faz necessária, pois incluem as irreversibilidades acima citadas. A aplicação da primeira lei, no entanto serve como base para isto, sendo uma complementar à outra.

Segue abaixo os fluxos no diagrama da Fig. (2), que mostra a distribuição dos componentes da unidade e os fluxos que foram utilizados para aplicação da teoria dos custos exeréticos.

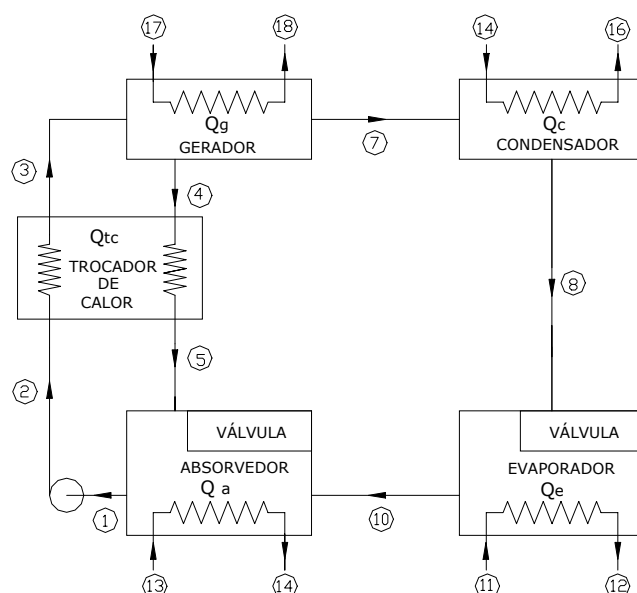


Figura 2 - Diagrama esquemático da unidade de refrigeração por absorção usando brometo de lítio e água, de simples efeito, com os fluxos indicados para a análise exergoeconômica.

A Tabela (1) mostra os dados de entrada que são fornecidos como base para a análise exergoeconômica, que é precedida pelas análises energética e exergética. As propriedades termofísicas da solução e do refrigerante, com exceção da entropia, são obtidas do EES (Engineering Equation Solver). Os detalhes das análises energética e exergética são mostradas por Varani (2001), que utiliza as equações das propriedades da solução encontradas em (Kaita et al, 2001 e Sun et al, 1997).

Tabela 1 - Dados de entrada para a simulação e análise energética e exergética do sistema de refrigeração por absorção de simples efeito com o par brometo de lítio/água.

Calor disponível no Gerador	21,101kW
Temperatura do Condensador	37°C
Temperatura do Evaporador	5°C
Temperatura do Absorvedor	34,44°C
Concentração da solução forte	64%
Diferencial de temperatura no Trocador Intermediário	29,16°C
Temperatura de entrada dos produtos de combustão no gerador	300°C
Temperatura de saída dos produtos de combustão do gerador	200°C
Temperatura de entrada de água gelada no evaporador	12°C
Temperatura de saída de água gelada do evaporador	7°C
Temperatura de entrada de água de resfriamento no absorvedor	29,5°C
Temperatura de saída da água de resfriamento do absorvedor igual à temperatura de entrada no condensador	32,45°C

Com base no diagrama, são tomadas as decisões para a definição dos combustíveis, produtos e perdas, segundo Losano et al (1989), que estão distribuídos na Tabela (2).

## 2.1 – Aplicação da análise

O equacionamento do sistema, com vistas à determinação dos custos exergéticos ( $B_i^*$ ) é feito seguindo a utilização das proposições apresentadas por Losano et al (1989).

Tabela 2 - Definição dos fluxos como combustível, produto e perdas em relação aos componentes da unidade de refrigeração.

EQUIPAMENTO	Combustível	Produto	Perdas
Gerador de vapor	17	(7+4) -3	18
Condensador	16-15	7-8	-
Evaporador	8-10	12-11	-
Bomba da solução	$W_b$	2-1	-
Absorvedor	13-14	1-(5+10)	-
Trocador de calor	4-5	3-2	-

### 2.1.1 -Proposição 1 - O custo exergético é conservativo.

Aplica-se a proposição a todos os subsistemas da unidade, mostrado a seguir:

Gerador de Vapor

$$B_3^* + B_{17}^* - B_7^* - B_4^* = 0 \quad (1)$$

Condensador

$$B_7^* + B_{14}^* - B_8^* - B_{16}^* = 0 \quad (2)$$

Evaporador, com a inclusão do dispositivo de expansão correspondente ao refrigerante:

$$B_8^* + B_{11}^* - B_{10}^* - B_{12}^* = 0 \quad (3)$$

Absorvedor, com a inclusão do dispositivo de expansão correspondente à solução forte em brometo de lítio:

$$B_5^* + B_{10}^* + B_{13}^* - B_1^* - B_{14}^* = 0 \quad (4)$$

Bombas da solução fraca em brometo de lítio:

$$W_b^* + B_1^* - B_2^* = 0 \quad (5)$$

Trocador de calor intermediário

$$B_4^* + B_2^* - B_5^* - B_3^* = 0 \quad (6)$$

**2.1.2 - Proposição 2 - Para os componentes múltiplos do combustível total de um subsistema, o custo exergético unitário ( $B_i^*/B_i$ , ou seja, custo exergético dividido pela exergia) dos fluxos de saída deve ser igual aos fluxos de entrada.**

Evaporador

$$B_8^* / B_8 - B_{10}^* / B_{10} = 0 \quad (7)$$

Trocador de calor intermediário

$$B_4^* / B_4 - B_5^* / B_5 = 0 \quad (8)$$

Absorvedor

$$B_{13}^* / B_{13} - B_{14}^* / B_{14} = 0 \quad (9)$$

**2.1.3 - Proposição 3.a - Se um subsistema tem um produto total composto por vários componentes, então todos têm o mesmo custo exergetico unitário.**

Absorvedor

$$(B_5^* + B_{10}^*) / (B_5 + B_{10}) - B_1^* / B_1 = 0 \quad (10)$$

Gerador de Vapor

$$(B_7^* / B_7) - (B_3^* - B_4^*) / (B_3 - B_4) = 0 \quad (11)$$

**2.1.4 - Proposição 3.b - Se um componente do produto tem vários fluxos de saída, lhes serão assegurados custos exergeticos unitários iguais.**

Gerador de vapor

$$B_4^* / B_4 - B_7^* / B_7 = 0 \quad (12)$$

**2.1.5 - Proposição 5 - Na ausência de valoração externa, o custo exergetico dos fluxos de entrada deve ser fixado igual à sua exergia.**

Gerador de vapor

$$B_{17}^* - B_{17} = 0 \quad (13)$$

Absorvedor

$$B_{13}^* - B_{13} = 0 \quad (14)$$

Evaporador

$$B_{11}^* - B_{11} = 0 \quad (15)$$

Bomba da solução

$$W_b^* - W_b = 0 \quad (16)$$

## **2.2. ANÁLISE EXERGEOCONÔMICA**

A expressão do balanço de custo para o sistema é apresentada por Torres (1999):

$$c_p^* B_p = c_f^* B_f + Z \quad (17)$$

onde:  $c_f$  é o custo em unidade monetária por unidade de exergia para o insumo(fuel),  $B_f$  é o fluxo exergético do insumo,  $c_p$  é o custo em unidade monetária por unidade de exergia para o produto,  $B_p$  é o fluxo exergético do produto e  $Z$  é o somatório dos custos de investimentos, manutenção e operação, calculado pela Eq. (18), citada por Hernandez et al (2003).

Cada componente terá um  $Z_{(i)}$  específico, ou seja, o gerador ( $Z_g$ ), condensador ( $Z_c$ ), evaporador ( $Z_e$ ), absorvedor ( $Z_a$ ), trocador de calor ( $Z_{tc}$ ) e a bomba ( $Z_{gb}$ ).

$$Z_{(i)} = \frac{3600 * \left(\frac{A}{P}\right)}{t_{op}} * F_i \quad (18)$$

onde:  $t_{op}$  é o tempo de vida útil (em segundos),  $F_i$  é o valor do investimento para cada subsistema (componente) e  $A/P$  é o fator de recuperação de capital e será calculado pela Eq. (19).

$$\left(\frac{A}{P}\right) = \frac{I * (1 + I)^N}{(1 + I)^N - 1} \quad (19)$$

onde:  $I$  é a taxa de interesse (que varia de zero a 1) e  $N$  é o período de reembolso (em anos).

Na Tabela (3) estão apresentados os investimentos iniciais de cada subsistema, em reais e em dólar, com a cotação do dólar comercial levantada em 15 de março deste ano (15/03/2003), no valor de R\$ 2,872 o dólar, cuja fonte é o Banco do Brasil.

Tabela 3 - Investimentos iniciais de cada subsistema.

SUB-SISTEMAS (Componentes)	CUSTOS ( $F_i$ )	
	DOLAR(US\$)	REAL(R\$)
Condensador	1,450.00	4.164,40
Gerador	1,700.00	4.882,40
Evaporador	1,760.00	5.054,72
Absorvedor	2,080.00	5.973,76
Trocador de calor	810.00	2.326,32
Bombas	455,00	1.306,80

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela (4) são apresentados os valores de  $Z$  para cada um dos subsistemas da unidade. Estes valores representam custos de desenvolvimento, não sendo portanto, referenciais para comparação com custos de aquisição de equipamentos em escala de produção industrial.

Tabela 4 - Resultados do  $Z_{(i)}$ .

SUBSISTEMAS	$Z_{(i)}$	
	(R\$/s)	(US\$/s)
Gerador	23,45	8,167
Condensador	20,01	6,966
Evaporador	24,28	8,455
Absorvedor	28,7	9,992
Trocador de Calor	11,18	3,891

Bomba	6,277	2,186
-------	-------	-------

O custo do consumo do gás natural é tomado com base no preço de fornecimento para a indústria, pela Companhia Paraibana de Gás – PBGÁS, no valor de R\$0,63/m<sup>3</sup>, no que representa um valor de entrada de R\$ 622,59\*10<sup>-6</sup>/s. São, também, considerados os custos de aquisição dos componentes auxiliares dos sistemas de rejeição de calor do absorvedor e do condensador (torre de resfriamento) e da água gelada. Para o condicionamento dos ambientes utilizando o conjunto ventilador serpentina(fan-coil), no valor de R\$ 81,99\*10<sup>-6</sup>/s.

Na Tabela (5) estão representados apenas os pontos empregados na análise termoeconômica. Devido a natureza irreversíveis das válvulas e por serem dispositivos que têm como consequência a destruição da exergia, são incluídas nas análises respectivas do evaporador e do absorvedor. Este procedimento segue a orientação do trabalho apresentado por Misra et al (2002), que acopla as válvulas de expansão e redutora de pressão nos volumes de controle do equipamento seguinte a elas, ou seja, evaporador e absorvedor respectivamente, excluindo assim os pontos 9 e 6 da tabela 6, como pode ser visto na Fig. (2).

Pela Tabela (5), observa-se um custo exergético elevado para a água de resfriamento, tanto no absorvedor quanto no condensador. Este custo exergético elevado pode estar associado aos gradientes de temperatura considerados nos respectivos dispositivos de troca de calor e ao nível de temperatura na entrada do absorvedor. Observação semelhante pode ser feita em relação aos custos econômicos.

Tabela 5 – Propriedades termoeconômicas do sistema ponto a ponto.

PONTOS	B (kW)	B* (kW)	k (B*/B)	P (R\$/s)*10-6	C (R\$/GJ)
1	1,116	4,787	4,29	177,4	159
2	1,116	4,787	4,29	183,7	164,6
3	1,36	6,685	4,915	272,2	200,1
4	3,915	19,24	4,915	783,4	200,1
5	3,529	17,34	4,915	706,1	200,1
7	0,6735	3,311	4,915	134,8	200,1
8	0,007569	0,04574	6,043	2,076	274,2
10	-1,259	-7,608	6,043	-345,3	274,2
11	0,9462	0,9462	1	81,99	86,65
12	1,881	8,6	4,573	453,6	241,2
13	0,2531	0,2531	1	81,99	323,9
14	0,6761	5,202	7,695	294,1	435,1
16	1,2	8,467	7,056	446,9	372,4
17	15,87	15,87	1	622,6	39,24
18	7,308	0	0	0	0

#### 4. CONCLUSÃO

A análise exergética objetivou a avaliação quantitativa e qualitativa do sistema estudado, para a verificação das irreversibilidades (perdas de exergia) que ocorrem em cada componente com vistas à otimização do mesmo. O componente que apresentou maior irreversibilidade foi o gerador de vapor, cuja relação com a irreversibilidade total foi de aproximadamente 80%, enquanto as relações dos outros componentes situaram-se em uma faixa de 0,4 a 8,0%. As menores eficiências exergéticas foram encontradas no gerador de vapor e no absorvedor. Foi observado que a melhoria do sistema deve partir da otimização do gerador de vapor



Este trabalho demonstra que a aplicação da teoria dos custos exergéticos e econômicos é uma ferramenta importante na análise de sistemas de refrigeração por absorção de vapor, tanto para plantas já instaladas ou em desenvolvimento. No presente caso o sistema estudado está em fase de testes, sendo possível os ajustes que as informações obtidas com a presente análise exergoeconômica oferece. Mesmo tendo o conhecimento de que os custos usados foram custos de desenvolvimento que podem ser reduzidos em uma escala de produção, ficou evidente a necessidade de uma redução acentuada dos custos nos dispositivos de transferência de calor, especialmente no absorvedor e no condensador. Os custos exergéticos dos fluidos de arrefecimento se apresentaram elevados comparados com os outros insumos.

## 5. AGRADECIMENTOS

Apresentamos os nossos agradecimentos à FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos, pelo suporte financeiro ao presente projeto e ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica PIBIC/UFPB/CNPq, Petrobrás/RedeGásenergia e PBGÁS.

## 6. REFERÊNCIAS

- Andrade, J. C. V., Santos, C. A. C. e Varani, M. R., 2000, “Simulação Computacional Baseada na Disponibilidade de Resíduos Energéticos para a Produção de Frio”, Anais do CONEM, Natal/RN, Agosto.
- Aphornratana, S., Eames, I.W., 1995 – “Thermodynamic Analysis of Absorption Refrigeration Cycles using the Second Law of Thermodynamics Method”, International Journal of Refrigeration, Vol. 18, No. 4, pp. 244-252.
- Bejan, Adrian, Tsatsaronis G., Moran M., 1996, “Thermal Design and Optimization”, New York: Wiley.
- Berlitz T., P. Satzger, F. Summerer, F. Ziegler, G. Alefeld, 1999, “A Contribution to the Evaluation of the Economics Perspectives of Absorption Chillers”, International Journal of Refrigeration, Vol. 22, pp. 67-67.
- Erlach B., Serra L., Valero A., 1999, “Structural Theory as Standard for Thermoeconomics”, Energy Conversion & Management, 40, pp. 1627-1649.
- Hernandez J., Heard C., Rivero R., 2003, “Exergoeconomic Comparison of a Combined Cycle Cogeneration System With Absorption Refrigeration Turbine Inlet Air Cooling”, Proceedings of ECOS2003.
- Herold, K.E., Radermacher, R. and Klein, A.S., 1996, “Absorption Chillers and Heat Pumps”, CRC Press, USA.
- Kaita, Y., 2001, “Thermodynamic Properties of Lithium Bromide-Water Solutions at High Temperatures”, International Journal of Refrigeration, Vol. 24, pp. 374-390.
- Kotas, T. J., 1985, “The Exergy Method of Thermal Plant Analysis”, Anchor Brendon Ltd., London.
- Losano M.A., Valero A., Guallar J., 1989, “Teoría del Cost Exergético”, Universidade de Zaragoza.
- Misra R. D., P. K. Sahoo and Gupta, A., 2002, “Application of the Exergetic Cost Theory to the LiBr/H<sub>2</sub>O Vapour Absorption System”, Energy, Volume 27, Issue 11, November, Pages 1009-1025.
- Ng K.C., Chua H. T., Tu K., Chong N.M. – Performance Study of Water-LiBr Absorption Chillers: Thermodynamic Modeling and Experimental Verification. Proceedings of the International Symposia on Transport Phenomena in Thermal Science and Process, Kyoto/Japan, Nov. 30-Dec. 3, 1997.
- Ng, K.C., K. Tu; H.T. Chua, J.M. Gordon, T. Kashiwagi, A. Akisawa AND Saha B. B., 1998, “Thermodynamic Analysis of Absorption Chillers: Internal Dissipation and Process Average Temperature”, Applied Thermal Engineering, Vol. 18, No. 8, pp. 671-682.

- Sun. DA-WEN – Thermodynamic Design Data and Optimum Design Maps for Absorption Refrigeration Systems. Applied Thermal Engineering, Vol.17, N0. 3, pp.211-221, 1997.
- Szargut, J.; Morris D.R.; Steward, F.R., 1988, “Exergy Analysis of Thermal, Chemical and Metallurgical Process”, Hemisphere Publishing Corporation, N.Y.
- Torres, E. A., 1999, “Avaliação Exergética e Termoeconômica de um Sistema de Cogeração de um Pólo Petroquímico”, FEM/UNICAMP, Tese de Doutorado.
- Tsatsaronis G., 1993, “Thermoeconomic Analysis and Optimization of Energy Systems”, Enrgy Combust, Vol. 19, pp. 227-257.
- Varani, C. M. R., 2001, “ Avaliação Energética e Exergética de uma Unidade de Refrigeração por Absorção Água/Brometo de Lítio Utilizando Gás Natural”, Tese de Doutorado, CPGEM/CT/UFPB.
- Varani C. M. R., Santos C. A. C., Gondim R. R., Torres E. A., 2003, “ Energetic and Exergetic Evaluation of an Lithium Bromide/Water Absorption Refrigeration System Utilizing Natural Gas”, Proceedings of ECOS2003, Copenhagen- Denmark, June30-July2, pp.1597-1619.
- Wylen, G. Van, Sontang, R., Borgnake, C., 1995, “Fundamentos de Termodinâmica Clássica”, Editora Edgard Blücher Ltda.

## **THERMOECONOMIC ANALYSIS OF AN SINGLE EFFECT ABSORPTION REFRIGERATION SYSTEM WITH THE PAIR WATER – LITHIUM BROMIDE**

### **Paulo Henrique Dias dos Santos**

(\*) Laboratório de Energia Solar(LES) da UFPB, Cidade Universitária -Campus I  
CEP: 58059-900, João Pessoa/PB, (\*), e-mail: paulohenriqueles@uol.com.br

### **Carlos A. Cabral dos Santos**

(\*), e-mail: cabral@les.ufpb.br

### **Celina Maria Ribeiro Varani**

e-mail: celina@les.ufpb.br

### **Hugo Lima Moreira**

(\*), e-mail: hlima@les.ufpb.br

### **Alysson de Oliveira Freitas**

(\*), e-mail: alyfreitas@bol.com.br

### **Ednildo de Andrade Torres**

Universidade Federal da Bahia - Escola Politécnica/DEQ/Laboratório de Energia  
Rua Aristides Novis, 2 , Federação, Salvador-Ba, CEP: 40210-630  
e-mail: ednildo@ufba.br.

**Abstract:** This work has as objective presents an thermoeconomic analysis of an single effect absorption refrigeration unit, that uses the pair lithium bromide and water, whose energy source is the natural gas. The analyzed unit was developed at the Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal da Paraíba (LES/UFPB). The model computational for to present analysis, it takes as base the data supplied by the established simulations for the energetic and exergetic analyses of the system. It is made the identification of the exergetic and monetary costs of each entrance and exit points of the system components, as well as of the complete absorption unit.

**Key Words** – Absorption Refrigeration, Exergy, Thermoeconomy.