

SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO ADSORTIVO COM A UTILIZAÇÃO DE UM COLETOR SOLAR COM ANTEPARO ÓTICO

José Maurício Gurgel - gurgel@les.ufpb.br

Universidade Federal da Paraíba, Laboratório de Energia Solar, CT/CPGEM-DTM
C.P. 5115 - 58051-970 – João Pessoa, PB, Brasil

José Espínola Jr. - UFPB – CPGEM- ETFSE/UNED

Luiz Simão Andrade Filho – UFPB – CT – DTCC

Francisco Marcondes – UFPB- CCT-DEM

Resumo. *É apresentado uma alternativa que tem o objetivo de tornar sistemas de refrigeração adsorptivo competitivos. O trabalho mostra um estudo de um coletor/reator modular que permite ser aberto e também o deslocamento do módulo isolante térmico que pode ser colocado sobre o vitral servindo de anteparo ótico sombreando-o logo após o processo de dessorção quando a incidência de energia solar não é mais necessária. Desta forma consegue-se a obtenção de um melhor COP consequência das temperaturas mais baixas de operação durante o processo de adsorção conseguidas com o melhor resfriamento do coletor e com a eliminação da energia que seria absorvida sem o anteparo. O trabalho apresenta uma modelação e simulação numérica referente a um sistema de refrigeração por adsorção sólida, que utiliza a energia solar como fonte energética e tem por objetivo o resfriamento de água.*

Palavras-chave: *Energia Solar, Adsorção, Silica-gel, Refrigeração*

1. INTRODUÇÃO

O uso de adsorção é frequentemente associado a aplicações relativas a desumidificação, filtragem e separação de substâncias orgânicas sobretudo na indústria petroquímica. Nos últimos anos têm sido observado um grande aumento de estudos da aplicação da adsorção sólida com fins de obtenção de frio (LeVan, 1999). Tais sistemas são simples, sem peças móveis e resumidamente são formados basicamente por três trocadores de calor interligados (coletor/reator adsorptivo, condensador e evaporador). O funcionamento destas máquinas é baseado na reação química entre dois compostos, que se apresentam um na forma sólida (adsorvente) e outro na forma líquida ou vapor (adsorbato). O frio é obtido à noite durante o processo de adsorção no reator que

provoca a evaporação do sorbato do evaporador. A regeneração do reator é realizada durante o dia com a incidência de energia solar. Os primeiros trabalhos dedicados a refrigeração foram realizados no fim da década de 1970 com os trabalhos de (Tchernev, 1979) e (Guilleminot et al, 1980), que construíram protótipos usando o par zeólita/água. O par sílica gel/água foi em seguida testado por (Vodianitskaia e Klüppel, 1984) e (Klüppel e Gurgel, 1987), com testes em dois protótipos: uma geladeira e um resfriador de água potável. Para a produção de gelo tais sistemas apresentaram dificuldades conseqüente da limitação física da temperatura mínima em que a água (fluido de trabalho) pode ser atingida que corresponde a temperatura do ponto triplo. Para contornar este problema, outros pares frigorígenos foram estudados sendo o carvão ativado/metanol usado com resultados promissores (Boubakri et al. , 1985), (Passos, 1986) e (Pons e Grenier, 1987) dentre outros. Embora tenham feito gelo, havia a necessidade de avanços tecnológicos visando melhorar suas performances. Um dos problemas avaliados, é a baixa condutividade térmica dos leitos granulares. Diante disto, algumas tentativas de se intensificar a transferência de calor nos leitos porosos foram estudadas por (Guilleminot e Gurgel, 1990), que conseguiram uma intensificação da condutividade térmica do leito e diminuição da resistência de contato leito granular/parede através de inserções metálicas misturadas ao leito e de compactação bimodal. Mais recentemente, nesta mesma direção, também foram desenvolvidos por (Cacciola e Restuccia, 1995) e (Guilleminot, 1998 e 1999), novos adsorventes (compósitos de carvão ativado e de zeólita-PTFE), com o propósito de melhorar a eficiência dos processos de sorção. Nestes trabalhos, aumentos consideráveis sobre o valor da condutividade térmica foram constatados mas com a desvantagem de apresentarem uma maior resistência a difusão de massa em seu interior, fato que incentiva a uma continuidade de pesquisas tentando minimizar este problema. Vários outros estudos teóricos e experimentais continuam sendo feitos com o objetivo de aperfeiçoar sistemas de refrigeração por adsorção que além de serem atraentes pelo uso da energia solar, destacam-se também pela não utilização de CFCs, como fluido de trabalho se enquadrando nas novas regulamentações relativos aos novos fluidos frigorígenos (protocolo de Montreal e de Kyoto). Uma das maiores limitações dos sistemas adsorptivos é a dificuldade de transferir calor para o ambiente, durante o processo de resfriamento do reator e principalmente durante o período noturno quando ocorre a adsorção havendo a necessidade do reator liberar o calor de sorção absorvido neste processo. Os coletores planos necessitam do uso de vitrais e isolantes térmicos para atingirem suas temperaturas de trabalho e que naturalmente dificulta bastante este resfriamento. O uso do CPC pode a princípio contornar estes dois problemas conforme simulações numéricas realizadas por (Gurgel et al. 2000) através de um reator formado de um tubo de vidro. Com este mesmo objetivo é aqui proposto uma inovação que consiste em um coletor plano modular composto por uma cobertura móvel. O módulo isolante térmico pode ser facilmente removível e colocado sobre o vitral aberto permitindo expor o reator diretamente as correntes convectivas contribuindo para um melhor resfriamento além de sombrear o coletor quando a energia solar incidente não for mais necessária. Em condições normais de funcionamento, o reator atinge sua temperatura máxima no horário solar compreendido entre 13:00 e 14:00 h., quando encerra-se o processo de dessorção. Neste momento, o coletor deve ser aberto e coberto com o módulo isolante. Para isso, torna-se necessário uma análise técnica mais criteriosa que permita a validação de tal procedimento. Para tanto, é realizada uma simulação numérica relativa a modelação matemática de todo o sistema frigorífico, na qual são utilizadas hipóteses e simplificações, a quais apresentam uma ótima confiabilidade, pois foram testadas e confrontadas com resultados experimentais obtidos

em diversos trabalhos (Guillenot et al, 1987) e (Gurgel e Klüppel, 1992), transmitindo assim uma boa credibilidade as simulações. A descrição detalhada dos sistemas adsortivos para fins de refrigeração são bem apresentados nas citações acima.

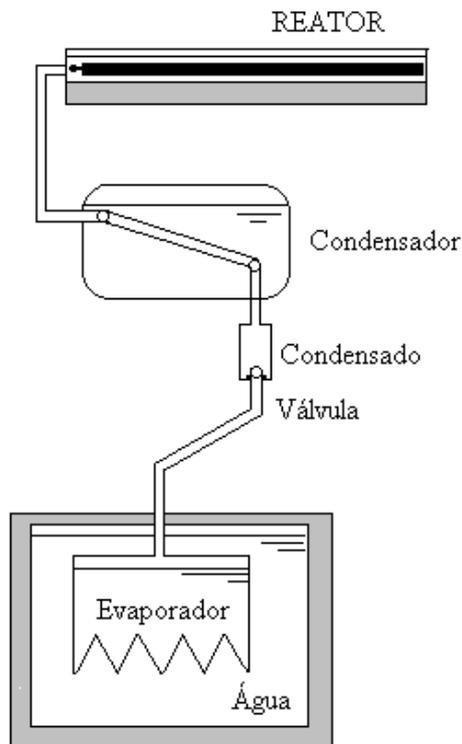


Figura 1- Esquema de um resfriador de água adsortivo

2. MODELAMENTO MATEMÁTICO PARA O RESFRIADOR ADSORTIVO

O sistema frigorífico para resfriamento de água é mostrado de forma esquematizada na figura 1. Tem o objetivo de refrigerar uma certa quantidade de água contida em um reservatório onde se encontra o evaporador. O modelo matemático e as respectivas hipóteses simplificadoras utilizadas para simular uma geladeira esquematizada na figura 1 (com o uso de um coletor plano) encontra-se detalhado nos trabalhos de (Gurgel e Klüppel, 1992) e (Carvalho et al., 1998). Nesse modelo a radiação solar incidente no coletor solar plano (I_s) levando-se em consideração a transmissividade do vidro e a emissividade dos tubos que compõem o reator, é distribuída em tubos paralelos que compõem o reator no interior do coletor. A parede do tubo é considerada a uma temperatura uniforme, ou seja, o fluxo radiativo incidente na parte superior, é rapidamente difundido radialmente por toda a parede do tubo. O aquecimento do leito adsortivo se faz entre as paredes internas dos tubos através de uma resistência térmica de contato.

No interior do leito adsortivo, são desprezados gradientes de temperatura devido a pequena espessura da camada porosa do leito granular. Em função da temperatura e da pressão, os adsorventes têm a capacidade de reter uma quantidade de sorbato variável entre zero e W_0 que é a quantidade máxima possível. Uma relação entre a concentração do sorbato retido no adsorvente, a temperatura do leito sólido e a pressão em que se encontra o sorbato gasoso foi proposta por (Dubinin-Astakhov, 1971) na forma abaixo:

$$C = W_0 \rho(T) \exp \left\{ -K \left[R T \ln \frac{P_s}{P} \right]^n \right\} \quad (1)$$

onde: C = concentração de sorbato (kg/kg), $\rho(T)$ = massa específica do sorbato (kg/m³), $R = 461,6$ (J/kg K), P_s = pressão de saturação do sorbato é função da temperatura do leito sorvente (Pa), P = pressão no adsorvente (Pa), T = temperatura do adsorvente (K), n , K e W_0 são constantes dependentes do par sorvente/sorbato. Por exemplo, para o par sílica gel/água, essas constantes determinadas por (Khelifa, 1984) são: $W_0 = 4,07 \times 10^{-4}$ m³(H₂O)/kg de sílica-gel, $n = 1$ e $k = 4,912 \times 10^{-6}$ kg(H₂O)/J

A relação de Clapeyron dá a entalpia de mudança de fase:

$$h_s = -R T^2 \left(\frac{\partial \ln P}{\partial T} \right) \quad (2)$$

O desequilíbrio térmico responsável pelo início do processo de dessorção corresponde, a partir do instante $t = 0$, ao fornecimento de uma potência solar incidente I_s (em W/m²), na parede externa dos tubos paralelos.

Um balanço de energia é feito para a parede de um tubo cujo comprimento total (L) que seja suficiente para preencher a área de um metro quadrado de coletor. Os tubos absorvem radiação solar I_s e transferem calor para o leito adsorativo através de um coeficiente de contato térmico placa/leito h_c , equacionado abaixo:

$$M_1 C_{p1} \frac{\partial T_1}{\partial t} = I_s (\epsilon \tau) A_c + U_t A_c (T_a - T_1) + h_c 2 \pi R L (T_2 - T_1) \quad (3)$$

onde: I_s é a radiação solar incidente no coletor, $(\epsilon \tau)$ são propriedades radiativas para o vidro e superfície coletora, que são calculados conforme expressões para radiação terrestre incidente no coletor (Duffie and Beckman, 1980). U_t é o coeficiente global de perdas térmicas do coletor calculadas usando uma equação empírica proposta por (Klein, 1973), h_c é o coeficiente de contato térmico tubo/leito, T_1 = Temperatura do tubo (K), M_1 = Massa do tubo (kg), C_{p1} = Calor específico a pressão constante do tubo (J/kg K), R = Raio externo da camada de adsorvente (m), h_c = Coeficiente de contato térmico entre o tubo e o leito de adsorvente (W/m²K), T_2 = Temperatura do adsorvente em $r = R$ (K), A_c = Área útil de captação solar (m²), T_a = Temperatura ambiente (K).

Quando o coletor é aberto e com a colocação do módulo isolante térmico sobre seu vitral, o reator fica exposto a corrente convectiva ambiente. Nesta condição o U_t refere-se apenas a convecção existente sobre e sob os tubos paralelos, considerando para efeito de cálculo convecção sobre placa plana.

No leito adsorativo, no interior do tubo, um balanço de energia permite calcular para cada tempo sua temperatura:

$$M_2 C_{p2} \frac{\partial T_2}{\partial t} = h_c 2 \pi R L (T_1 - T_2) + \frac{\partial C}{\partial t} M_2 h_s \quad (4)$$

onde: T_2 = temperatura uniforme do adsorvente (K), M_2 = massa do adsorvente (sílica-gel) (kg) com concentração de sorbato, C_{p2} = calor específico a pressão constante do

adsorvente com adsorbato (J/kg K), R = raio externo da camada de sorvente (m). Para cada instante de tempo M_2 é recalculado função de sua temperatura e pressão.

O termo (dC/dt) é obtido diferenciando-se a equação 1 parcialmente em relação a T e $\ln P$ e usando a equação 2, chega-se a:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = n D C T^n \left(\ln \frac{P_s(T)}{P} \right)^{n-1} \left[\frac{\partial (\ln P)}{\partial t} - \frac{h_s}{RT^2} \frac{\partial T}{\partial t} \right] \quad (5)$$

As condições iniciais para o reator são determinadas pela temperatura inicial T_i e pela pressão inicial P_i que é a pressão do evaporador para o caso de se iniciar a simulação no início do dia. Devido ao tipo de formulação usada, a pressão e temperatura durante os processos a concentração constante, são calculados através de um procedimento iterativo usando-se a equação de equilíbrio entre temperatura, pressão e concentração do leito (equação 1). Esta equação é usada como recorrência, afim de que se estabeleça um critério de convergência. Desta forma, para cada passo no tempo a pressão do leito poroso é o resultado entre o valor estimado e o calculado através de um algoritmo (Espínola Jr., 1997). A convergência da solução será obtida obedecendo um critério de convergência.

Com a incidência de radiação solar o reator se aquece ao mesmo tempo em que sua pressão aumenta. Quando é atingida a pressão de trabalho do condensador (P_{cond}), inicia-se a condensação do vapor d'água proveniente do processo de dessorção no reator. Após a finalização da condensação, o reator se resfria com a conseqüente queda de pressão, quando está atinge a pressão do condensador que é dada pela temperatura a que se encontra o evaporador. O condensador é resfriado a água estacionária que se mantém a temperatura constante T_{ac} . O balanço de energia é então:

$$M_c C_{p_c} \frac{\partial T_c}{\partial t} = \frac{\partial C}{\partial t} M_2 H_{lv} + A_{con} h_{con} (T_{ac} - T_c) \quad (6)$$

onde:

T_c = temperatura do condensador (K), M_c = massa dos tubos do condensador (kg), C_{p_c} = calor específico a pressão constante do material dos tubos (J/kg K), h_{con} = coeficiente de convecção entre o tubo e a água de refrigeração (W/m^2K), T_{ac} = temperatura da água de refrigeração (K), A_{con} = área de troca térmica do condensador (m^2), H_{lv} = entalpia de mudança de fase líquido/vapor (J/kg).

O evaporador é esquematizado como um reservatório contendo água que é o fluido refrigerante (adsorbato) e em contato com este, um outro reservatório onde se coloca a água a ser resfriada. Para o evaporador, são realizados dois balanços de energia considerando desprezíveis penetração de calor do ambiente para o reservatório :

$$M_{eva} C_{p_a} \frac{\partial T_{eva}}{\partial t} = \frac{\partial C}{\partial t} M_2 H_{lv} + A_a U_{al} (T_f - T_{eva}) \quad (7)$$

$$M_f C_{p_a} \frac{\partial T_f}{\partial t} = A_a U_{al} (T_{eva} - T_f) \quad (8)$$

onde:

T_{eva} = Temperatura do fluido refrigerante (água) do evaporador (K), T_f = Temperatura do reservatório de água em contato com o evaporador (K), M_{eva} = Massa do evaporador

(água) (kg), M_f = Massa da água contida no reservatório (kg), C_{pa} = Calor específico a pressão constante da água (J/kg K), U_{al} = Coeficiente global de transferência de calor entre o reservatório e o evaporador (W/m^2K), A_a = Área de troca térmica entre o reservatório de água e o evaporador (m^2).

As equações acima são resolvidas numericamente em um esquema implícito. e após o cálculo das temperaturas do condensador e evaporador, as pressões são corrigidas através de um polinômio que representa a pressão de saturação da água em função da temperatura.

A determinação do COPs solar é definido pela razão do frio obtido pela energia solar incidente no coletor durante todo o dia. O frio obtido corresponde o calor fornecido pelo evaporador para evaporar certa quantidade de água (mc) que é adsorvida pelo reator.

3. SIMULAÇÃO E RESULTADOS

Para a simulação numérica, o modelo é alimentado com dados de condições solarimétricas e ambientais relativas a um dia de bom índice de radiação que correspondem a energia incidente em um área da captação de $1m^2$ de 23,8 MJ. Uma temperatura ambiente foi considerada variando entre 21 e 28 °C. No evaporador, é considerada uma massa de água de 10 kg com temperatura inicial (5 horas da manhã) de 5 °C. Para o coletor plano ($1 m^2$), 24 tubos posicionados paralelamente, (4 cm de diâmetro externo com tubo interno concêntrico com 1 cm de diâmetro, permitindo a compactação de 20 kg de sílica gel) somam um comprimento total de 23 m com área total superficial externa de $2.9 m^2$ que corresponde a área de transferência de calor entre os tubos e o adsorvente.

Uma determinada massa de água (MA) é colocada diariamente no reservatório acoplado ao evaporador para ser resfriada de 30 °C para 5°C. A quantidade vai depender do desempenho do sistema simulado como pode ser visto mais adiante na tabela 1. Inicialmente é realizada uma simulação de um refrigerador com reator usando coletor plano (fechado) (figura 2a) . Em seguida, para as mesmas condições de funcionamento é simulado o mesmo refrigerador com a única diferença que é o procedimento de abertura e sombreamento do coletor modular após o processo de desorção (figura 2b). Os resultados obtidos estão mostrados nas figuras 3 e tabela 1 onde são mostrados os ciclos adsorptivos que são formados por quatro processos: (a-b) aquecimento do reator, (b-c) desorção com condensação do sorbato, (c-d) resfriamento do reator até atingir a pressão do evaporador e (a-b) adsorção com obtenção do frio. Observa-se nestas simulações, que a obtenção de temperaturas mais baixas durante o processo de adsorção obtidos com o coletor modular consegue-se uma maior massa cíclica (mc) (ou massa evaporada) comparado com o coletor convencional fechado que atinge uma temperatura máxima maior, mas como permanece sempre fechado, tem dificuldade de se resfriar.

Estes resultados são particulares para o caso do par sílica-gel/água que não precisa de altas temperaturas para regeneração além da capacidade de reter sorbato quando submetidas a baixas temperaturas .

Diante dos resultados, obteve-se um aumento de 40 % no desempenho do resfriador, o que é bastante significativo.

Tabela 1. Resultados obtidos com as simulações. $T_{\text{máx}}$ e T_{min} (temperaturas do reator), ΔC (diferença entre isósteras), mc (massa cíclica), MA (massa de água resfriada)

	$T_{\text{máx}}$ (°C)	T_{min} (°C)	ΔC g/g	mc Kg	COPs -	MA kg
Coletor Fechado	95	38	0.061	1.22	0.12	21
Coletor modular	85	30	0.086	1.72	0.17	30

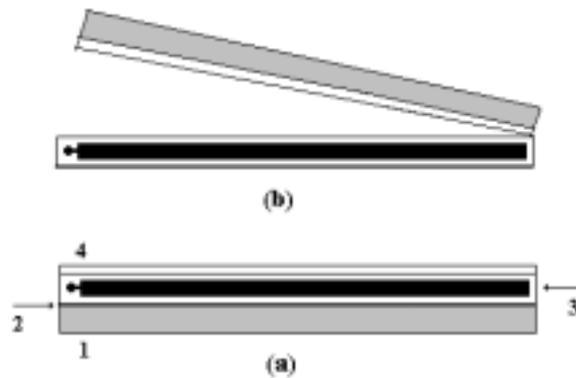


Figura 2. Vista Lateral do Coletor Adsorvente. (a) – Coletor (convencional fechado)
 (b)- Coletor modular (aberto com módulo isolante sobre o vitral).
 (1)- Corpo isolante, (2)- Grelha de suporte dos tubos, (3)- Tubos dispostos paralelamente e interligados, (4)- Vitral.

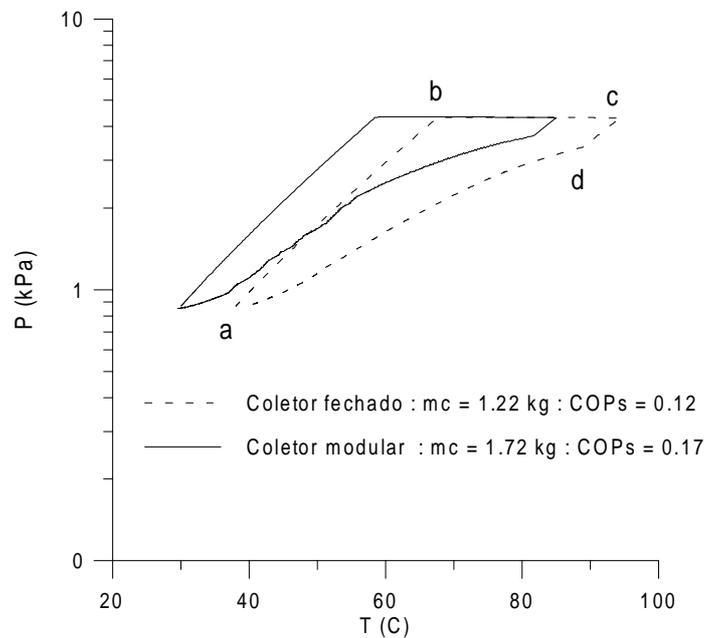


Figura 3. Ciclos adsorptivos simulados com o Coletor fechado (convencional) e Coletor modular (com abertura e sombreamento)

4. CONCLUSÃO

Com as simulações realizadas, o uso de um coletor modular para regenerar um reator adsorptivo mostrou-se viável do ponto de vista técnico e apresentando melhores resultados do COPs (40 % maior) quando comparados com os resultados obtidos com coletor convencional fechado. Isto é entendido como consequência do procedimento de abertura do coletor após o processo de dessorção e também da não absorção da energia solar incidente que é evitada com a colocação do modulo isolante sobre o vitral. Desta forma consegue-se um melhor resfriamento do coletor e com a obtenção de temperaturas mais baixas permitindo uma maior adsorção e consequentemente uma maior evaporação no evaporador possibilitando um maior efeito frigorífico. A desvantagem desta proposta é a necessidade de diariamente proceder a abertura do coletor. A continuidade do trabalho considerará a concepção de um coletor com cobertura ‘honeycomb’ com anteparo parabólico refletor colocado ao lado em uma posição vertical que servirá de refletor de radiação solar incidente para o coletor e de sombreamento após o meio da tarde quando para estas aplicações a energia solar incidente não interessa. A construção de um protótipo se faz necessário para comparações com resultados experimentais para melhor se avaliar as influências do procedimento proposto de funcionamento do coletor e dos parâmetros aqui abordados.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pelo CNPq (Proc. N° 522559/95-6).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Boubakri A., Grenier Ph. Ans Pons M., 1985, “Utilisation du couple C.A.-méthanol pour la production de glace par énergie solaire. Proceedings of the J.I.T.H. Conference, C.N.R.S. Editor, Rabat.
- Cacciola, G., Restuccia, G. and Mercadante, 1995, “Composites of activated carbon for refrigeration adsorption machines”, Carbon, Vol. 33 (9), pp. 1205-1210.
- Carvalho, J.M. , Silva, J. E. Jr e Gurgel, J.M., 1998, “ Simulação De Um Sistema De Refrigeração De Leite Usando Adsorção e Regenerado por Energia Solar.” V Congresso De Engenharia Mecânica Norte Nordeste, Fortaleza –Ce.
- Duffie, J. and Beckmam, W., “Solar Engineering of Thermal Processes”; 1980, John Wiley.
- Guillemot, J.J., 1999, “From Pellet composite adsorbent bed: evolution of adsorbent technologies”, Proceedings of the Sixth International Conference of Fundamentals of Adsorption, Gien (France), Elsevier.
- Guillemot, J.J., 1998, “From pellets to composite adsorbent bed: evolution of adsorbent technologies”, FOA6, Elsevier, pp 1071-1076.
- Guillemot J.J. and Gurgel, J.M., 1990, “Heat transfer intensification in adsorbent beds of adsorption thermal devices”, International solar energy conference american society of mechanical engineers (ASME), Miami (Florida).
- Guillemot, J.J. Meunier F. et Mischler B. 1980, “Étude des cycles intermittents à adsorption solide pour la refrigeration solaire”; Ver. Phys. Appl. 15.

- Guilleminot, J.J. , Meunier, F. and Pakleza, 1987, J. “Heat and Mass transfer in a non-isothermal fixed bed solid adsorbent reactor: a uniform pressure/non-uniform temperature case”, Int. J. of Heat Mass Transfer, V 30, N 8, pp 1595-1606.
- Gurgel J. M. e Klüppel, R. P., 1992, “Simulação Numérica de um Sistema de Refrigeração por Adsorção”, anais do IV ENCIT , Rio de Janeiro.
- Hsieh, C.K., 1992, “Thermal Analysis of CPC Collectors”; S. Energy, V 27, N 1.
- Klein, S. A., 1973, “The Effects of Thermal Capacitance Upon the Performance of Flat-Plate Solar Collectors”, Thesis University of Wisconsin, Australia.
- Klüppel, R. P. and Gurgel, J.M.,1987, “Solar adsorption cooling using silicagel/water”, Advances in solar energy technology, Proceedings of ISES, V3, Hamburg, R.F.A.
- Khelifa, 1984, N. “Das Adsorptionspaar Silicagel-Wasserdampf”. Anwendung als Solares Klimatisierungssystem, Dissertation Ludwig-Maximilians Universität, Munich,
- LeVan, M.D.,1999, ”Adsorption processes and modeling:present and future”, Key note lecture, Proceedings of the Sixth International Conference of Fundamentals of Adsorption, Gien (France), Elsevier.
- Passos, E.F., 1986, ”Étude des couples charbon actif-methanol et leur application a la réfrigération solaire”, Thèse de Doctorat – École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suíça.
- Pons, M. and Grenier, Ph., 1987, “Experimntal data on a solar-powered ice maker using activated carbon and methanol adsorption pair”, Journal of Solar Energy Engineering, V 109, pp 303-310.
- Santos J.C., Espínola Jr, J, Carvalho, F.P., Klüppel, R.P., Cavalcanti, M.A.W. e Gurgel, J.M. , 2000, “Refrigeração por adsorção solar usando CPC”, Anais do CONEM 2000, Natal.
- Silva, J.A., 1993, ”Desenvolvimento e Análise Térmica de um Coletor Solar de Baixo Custo”; Dissertação de Mestrado, CPGEM.
- Tchernev, D. I., 1979, “Proceedings of the XIVth Intersociety Energy Conversion Engineering Conferences”.
- Winston, R., 1984, “Principles of solar concentrators of a novel design, Solar Energy, v16, pp 89-95.
- Vodianitskaia, P.J. e Klüppel, R.P., 1984, “Geladeira Solar de Adsorção”, Anais do III Congresso Brasileiro de Energia, Rio de Janeiro.

***Abstract.** The use of a solid adsorption cooling unit based on the binary silica gel/water couple constitute an very promising way to harness solar energy refrigeration purposes. Here is presented an mathematical model for the simulation of the system under several use conditions and it was shown coherent when compared with some experimental results. The several accomplished simulations showed the need to be projected a modulate reactor that can offer cooling easiness during the night period and shown the advantage of the use of an solar collector that can be easily opened and your thermal insulating module placed across the glass close the thermal radiation when the desorption process finish. The simulations results presented here shown an better COP for this configuration through an better cooling of the collector at night.*

Key Words: Solar energy, Adsorption, Silica-gel, Refrigeration