



MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE UM REFRIGERADOR POR ADSORÇÃO PARA A PRODUÇÃO DE GELO, UTILIZANDO ENERGIAS DE FONTES ALTERNATIVAS

Rogério G. Oliveira

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Eng de Alimentos, Dep. Eng. de Alimentos - Cidade Universitária Zeferino Vaz - 13084-970 - Campinas, SP, Brasil

Vivaldo Silveira Jr.

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Eng. de Alimentos, Dep. Eng. de Alimentos - Cidade Universitária Zeferino Vaz - 13084-970 - Campinas, SP, Brasil

Resumo. *Este trabalho consiste na modelagem e simulação dinâmica de um sistema de refrigeração por adsorção/dessorção de amônia em carvão ativado, para a produção de gelo, podendo utilizar fontes de energia de diferentes origens, tais como radiação solar ou energia térmica, proveniente da combustão de combustíveis fósseis, de biomassa ou resíduos térmicos. Avaliou-se através de planejamento fatorial completo, a influência da alteração das variáveis de um nível inferior até um nível superior, no COP e na produção diária de gelo por $kg_{adsorvente}$. Com os resultados obtidos, pode-se estimar as condições de operação estudadas, que produzem a maior quantidade de gelo diária por $kg_{adsorvente}$. Foi proposta uma alteração do ciclo de operação convencional, o qual obteve uma produção diária de 300 g de gelo por $kg_{adsorvente}$.*

Palavras-chave: Adsorção, Refrigeração, Modelagem, Energia – Fontes alternativas, Planejamento experimental.

1. INTRODUÇÃO

As regiões tropicais recebem grande quantidade de radiação solar durante todo o ano, sendo interessante buscar meios de utilizar esta fonte energética, para poupar fontes não renováveis. Esta energia já é utilizada no aquecimento de água e na secagem de grãos, porém, para a refrigeração, ela está apenas no nível experimental.

Um sistema exclusivamente à radiação solar apresenta os inconvenientes de depender muito das condições climáticas do período e de possibilitar apenas um único ciclo de refrigeração pelo sistema de dessorção/adsorção, por dia (sistema intermitente), o que limita a produção de gelo e encarece o custo do equipamento, em relação à sua capacidade de refrigeração.

Uma proposta para resolver estes inconvenientes é utilizar diferentes fontes de energia complementares, tais como, energia térmica proveniente da queima de combustíveis derivados de petróleo, de biomassa ou quaisquer outros resíduos térmicos.

O sistema de adsorção sólido-vapor não precisa de temperaturas muito altas para funcionar, portanto é adequado para ser modelado e simulado de maneira que possa utilizar diferentes fontes energéticas a baixas temperaturas. O uso da energia se dá pelo aquecimento de um fluido térmico pela fonte energética, e a transferência deste calor, ao reator contendo o par adsorvente/adsorvato.

O par de adsorvente/adsorvato escolhido para a simulação foi o par amônia/carvão ativado. A amônia foi escolhida como adsorvato devido à sua elevada entalpia de evaporação e por permitir que o sistema opere a pressões acima da atmosférica, o que permite ao mesmo continuar funcionando por um certo período, caso ocorra algum tipo de vazamento. O carvão ativado foi escolhido como adsorvente por ser mais barato que outros adsorventes, permitir sua ativação para atender determinadas aplicações e poder ser produzido em qualquer país.

1.1 Descrição do funcionamento do ciclo de refrigeração por adsorção

O ciclo do sistema de refrigeração por adsorção visto na Fig. 1 consiste de:

- uma troca de calor entre o reator e o fluido térmico para que ocorra a dessorção/adsorção;
- uma troca de calor em um condensador para que o refrigerante dessorvido possa condensar, ser coletado em um reservatório e ser transferido para o evaporador;
- uma troca de calor entre o refrigerante contido no evaporador e a água a sua volta, para que ocorra a transformação da água em gelo;

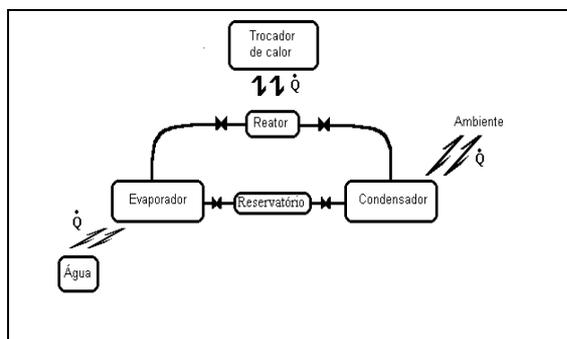


Figura 1. Sistema de refrigeração por adsorção, utilizando uma fonte de energia alternativa.

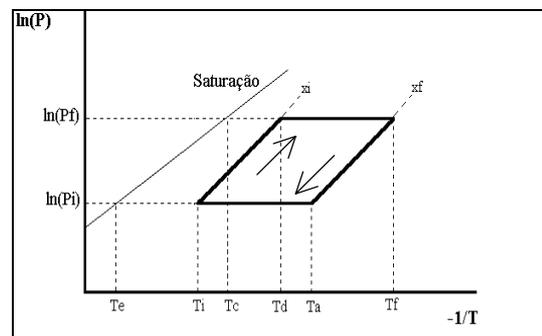


Figura 2. Diagrama de Clapeyron para um ciclo ideal de adsorção/dessorção.

O diagrama de Clapeyron (Figura 2), representa as condições de estado do leito adsorvente/adsorvato e auxilia no entendimento do ciclo de refrigeração, da seguinte maneira:

1. O reator, inicialmente a uma temperatura T_i , pressão P_i e concentração x_i , troca calor com uma fonte externa, aumentando sua pressão e temperatura isostericamente¹, uma vez que o reator encontra-se fechado.
2. Ao atingir uma pressão P_f igual a pressão de saturação do refrigerante a temperatura do condensador, abre-se a saída do reator e este continua a ser aquecido, porém, agora isobaricamente e transferindo massa de adsorvato para o condensador.

¹ Massa adsorvida constante.

3. Alcançando a temperatura T_f e a concentração x_f , cessa-se o fornecimento de calor, fecha-se a válvula de conexão entre o condensador e o reator. O líquido condensado originado da dessorção de refrigerante do reator é transferido para o evaporador.
4. Começa o resfriamento isostericamente do reator, até que ele atinja a temperatura T_a e pressão P_i , que é a pressão de saturação da amônia à temperatura de evaporação. Neste momento é aberta a válvula de comunicação entre o evaporador e o reator e continua-se o resfriamento deste, agora isobaricamente, porém com progressivo aumento da massa de refrigerante adsorvido.
5. Quando o reator atinge a temperatura T_i , fecha-se a válvula de comunicação entre o evaporador e o reator e começa-se um novo ciclo.

De acordo com a teoria de adsorção em microporos, de DUBININ-ASTAKHOV, a concentração do adsorvato no adsorvente pode ser descrita pela equação seguinte:

$$x = \rho(T)x_o \exp\left(-\frac{D}{\beta^2}\left(T \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right)\right)^n\right) \quad (1)$$

Onde:

- β é o coeficiente de afinidade do adsorvato e seu valor é 0,28, (Cristoph, 1988).
- $\rho(T)$ é a densidade do adsorvato em função da temperatura.
- D é parâmetro da microestrutura do adsorvente e seu valor é $3,296 \times 10^{-4}$, (Cristoph, 1996).
- n é um parâmetro de ajuste da equação adsorvente e seu valor é 1,1965, (Cristoph, 1996).
- P_1 é a pressão de vapor do adsorvato a temperatura (T), [Pa].
- P_2 é a pressão dentro do reator, [Pa].
- T é a temperatura do leito de adsorvente/adsorvato.
- x é a concentração de adsorvato no adsorvente anidro, [$\text{kg kg}^{-1}_{\text{adsorvente}}$].
- x_o é a concentração máxima de adsorvato, no adsorvente anidro, que variou conforme a alteração da densidade do adsorvato, [$\text{kg kg}^{-1}_{\text{adsorvente}}$].

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados neste trabalho foram:

- *software* MATLAB 4.2, para resolver as equações que descrevem o sistema;
- *software* STATISTICA 5.0, para realização do Planejamento Experimental Fatorial Completo (PEFC);
- microcomputador Pentium 233MHz.

2.1 Modelagem matemática do processo

As equações que reproduzem o balanço de massa e de energia em cada uma das unidades são apresentadas a seguir.

Balanço de energia no reator.

$$\rho_{carv.} [Cp_{carv.} + xCp_{NH3}] \frac{\partial T}{\partial t} = k_{leito} \nabla^2 T + Q(r) \quad (2)$$

$$Q(r) = h_s \rho_{Carv.} \frac{\partial x}{\partial t} \quad (3)$$

Onde:

- $\rho_{Carv.}$ é a densidade do adsorvente, que variou entre 449 kg m^{-3} até 764 kg m^{-3} .
- $C_{pCarv.}$ é o calor específico do carvão ativado e seu valor é $700 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, (Cristoph, 1989).
- C_{pNH_3} é o calor específico do adsorvato e variava conforme a temperatura do leito.
- h_s é a entalpia de sorção do adsorvato no adsorvente e foi obtida em Oliveira (1999).
- k_{leito} é a condutividade efetiva do leito de adsorvente/adsorvato, e variou entre $0,125 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e $0,370 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.
- r é o raio do leito de adsorvente/adsorvato, [m].
- t é o tempo de processo, [s].

Balanco de massa no reator (Fase de dessorção isobárica).

$$\rho_{carv.} V_{Reator} \frac{\partial x}{\partial t} = - \frac{\partial m_{NH_3}}{\partial t} \quad (5)$$

Onde:

- V_{reator} é o volume do reator, que variou conforme a alteração do diâmetro do tubo intermediário do mesmo.
- m_{NH_3} é a massa de adsorvato, e variou conforme a quantidade de massa dessorvida, [kg].

Balanco de massa no reator (Fase de adsorção isobárica).

$$\rho_{Carv.} V_{Reator} \frac{\partial x}{\partial t} = \frac{\partial m_{NH_3}}{\partial t} \quad (6)$$

Condições de Contorno. Considerando-se que há uma resistência térmica entre o fluido de aquecimento/resfriamento e a superfície do leito adsorvente, as condições de contorno são:

$$-k \left. \frac{dT}{dr} \right|_{r=R_2} = U_{reator} (T_{fluido} - T_{leito}) \quad \text{e} \quad \left. \frac{dT}{dr} \right|_{r=R_1} = 0$$

Onde:

- R_1 é o raio do tubo interior do reator e seu valor é $0,013 \text{ m}$.
- R_2 é o raio do tubo intermediário do reator e variou entre $0,033 \text{ m}$ e $0,085 \text{ m}$.
- U_{reator} é o coeficiente de transferência de calor entre o fluido térmico e o leito e variou entre $14 \text{ W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e $236 \text{ W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.
- T_{fluido} é a temperatura do fluido térmico, que variou entre $58 \text{ }^\circ\text{C}$ até $132 \text{ }^\circ\text{C}$.

Balanco de energia no condensador.

$$m_{Cond.} C_{pCond.} \frac{\partial T_C}{\partial t} = m_{NH_3} (h_V(T_D) + h_l(T_C)) - U_{Cond.} A (T_C - T_{amb.}) \quad (10)$$

Onde:

- A é a área do condensador, e seu valor é 0,5 m².
- Cp_{Cond.} é o calor específico do condensador e seu valor é 465 J kg⁻¹ °C⁻¹.
- h_L é a entalpia do adsorvato líquido saturado e seu valor foi obtido em Stoecker & Jabardo (1994).
- h_V é a entalpia do vapor de adsorvato saturado e seu valor foi obtido em Stoecker & Jabardo (1994).
- m_{Cond.} é a massa do condensador, e seu valor é 2 kg.
- m_{NH3} é a vazão mássica do adsorvato, [m³ s⁻¹].
- T_{amb.} é a temperatura do ar e variou de 10,2 °C até 39,8 °C.
- T_C é a temperatura de condensação é seu valor inicialmente atribuído era igual a temperatura do ar, aumentando conforme a capacidade de transferência de calor do condensador.
- T_D é a temperatura de dessorção e era admitida como sendo a temperatura média do leito.
- U_{Cond.} é o coeficiente de transferência de calor do condensador e seu valor é 50 W m⁻² °C⁻¹.

Balço de energia no evaporador. Considerando como volume de controle o evaporador e a amônia, tem-se:

$$\left(m_{Evap.} Cp_{Evap} + m_{NH3} Cp_{NH3}\right) \frac{\partial T_E}{\partial t} = U_{Evap.} A (T_{Agua} - T_E) - (h_V - h_L) \frac{\partial m_{NH3}}{\partial t} \quad (11)$$

Onde:

- Cp_{Evap.} é o calor específico do evaporador e seu valor é 465 J kg⁻¹ °C⁻¹.
 - m_{Evap.} é a massa do evaporador e seu valor é de 2kg.
 - T_{água.} é a temperatura da água a ser resfriada e seu valor é de 25 °C.
 - T_E é a temperatura de evaporação e seu valor é próximo de 0 °C.
 - U_{evap.} é coeficiente de transferência de calor do evaporador e seu valor é de 300 Wm⁻² °C⁻¹.
- Considerando como volume de controle a água a ser resfriada, tem-se:

$$m_{Agua} Cp_{Agua} \frac{\partial T_{Agua}}{\partial t} = -U_{Evap.} A (T_{Agua} - T_E) \quad (12)$$

Onde:

- Cp_{Água.} é o calor específico da água e seu valor é de 4184 J kg⁻¹ °C⁻¹.
 - m_{Água.} é a massa da água e varia conforme a massa dessorvida de adsorvato.
- Depois que T_{água} atinge 0 °C, a Eq. (12) passa a ser:

$$h_{Solid.} \frac{\partial m_{Agua}}{\partial t} = -U_{Evap.} A (T_{Agua} - T_E) \quad (13)$$

Depois que toda a água se tornar gelo, volta-se a usar a Eq. (12) em substituição a Eq. (13), utilizando-se as propriedades do gelo.

2.2 Hipóteses e justificativas

As hipótese assumidas para simular o processo foram:

1. A pressão do leito instantânea e homogênea, por Karagiorgias & Meunier (1986).
2. Temperatura da parede do reator constante, uma vez que o fluxo do fluido térmico é rápido o bastante e tem-se um reator pequeno com apenas um gradiente de temperatura na direção radial.
3. Considerou-se que o processo pode ser modelado, utilizando-se apenas fatores de transferência de calor, tais como condutividade do leito e coeficiente de transferência de calor entre o leito e o fluido de aquecimento, pois a difusão de massa, conforme mostrada por Ruthven (1984), não afeta a cinética da reação.
4. Não houve acúmulo de massa no condensador, pois considerou-se que tão logo o adsorvato condensasse, este era coletado num reservatório, para ser transferido ao evaporador.
5. Temperatura de condensação uniforme no condensador.
6. Temperatura de evaporação uniforme no evaporador.
7. Massa do recipiente que continha a água, desprezível.
8. Processo de troca térmica no evaporador adiabático com o ambiente.

2.3 Método numérico de resolução das equações

Todas as equações diferenciais parciais, foram discretizadas pelo método de diferenças finitas, de acordo com o esquema de Crank-Nicolson.

Os passos de interação utilizados foram de 1, 10 e 60 segundos para o tempo e para o raio foram de 4 ou 5 mm, conforme a espessura do leito.

2.4 Planejamento experimental fatorial completo (PEFC)

Escolheu-se 2 variáveis resposta de interesse para os ensaios realizados.

1. O COP: exprime a eficiência do ciclo, uma vez que ele relaciona a energia fornecida ao reator, na fase de aquecimento do mesmo, com a energia absorvida pelo evaporador, na etapa de resfriamento do reator.
2. A produção diária de gelo por kg_{adsorvente}. Esta quantidade foi obtida extrapolando-se para o período de 24 horas, a produção e tempo de cada ciclo.

O PEFC determina a realização de 16 ensaios, com 4 variáveis independentes nos níveis inferiores e superiores de cada uma das variáveis, onde pode-se evidenciar ao efeitos significativos nas respostas obtidas.

O PEFC é completado com mais 9 ensaios, para obter uma quantidade de resultados suficientes para uma correlação multivariável quadrática do processo, dos quais 1 ensaio é no nível intermediário das variáveis, 1 ensaio é no nível $-\alpha$ e 1 ensaio é no nível $+\alpha$ para cada variável, onde o valor de α para PEFC, fornecido pelo *software* STATISTICA 5.0 é de 1,48, sendo o nível inferior representado por -1 e o nível superior por +1.

O valor de cada variável independente, nos diferentes níveis pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1. O valor das variáveis do PEFC nos níveis dos ensaios.

	Unidade	Nível $-\alpha$	Nível -1	Nível 0	Nível 1	Nível α
Densidade do leito	kg m ⁻³	449	500	607	713	764
Espessura do leito	m	0,02	0,03	0,048	0,065	0,072
Temperatura do ar	°C	10,2	15	25	35	39,8
Temperatura do fluido de aquecimento	°C	58	70	95	120	132

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Planejamento experimental fatorial completo

Analisando separadamente os efeitos das variáveis independentes em cada variável resposta, tem-se:

Efeito no COP

A temperatura do ar, foi apontada pelo PEFC, como o fator que mais interfere no COP do sistema. O PEFC apontou também a importância da temperatura do fluido de aquecimento e da interação desta com a temperatura do ar.

Verifica-se pela Fig. 3 que a influência da temperatura do ar é maior para valores baixos da temperatura do fluido de aquecimento e que para valores baixos da temperatura do ar, o COP é praticamente constante, não importando a elevação da temperatura do fluido de aquecimento. O COP atinge seus maiores valores para o nível intermediário da temperatura do fluido de aquecimento.

Pela Fig. 4, verifica-se que o COP atinge valores próximos de 0,3, para qualquer valor da densidade e de espessura do leito.

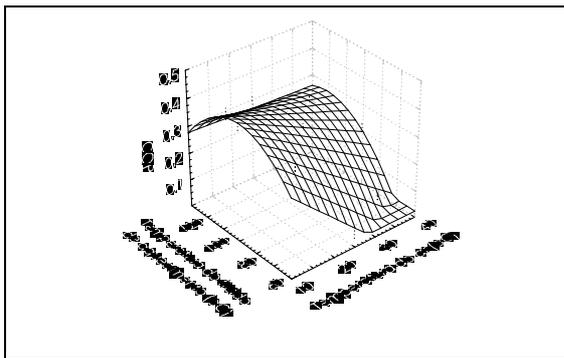


Figura 3. Variação do COP em função da temperatura do fluido de aquecimento e do ar, com as demais variáveis no nível zero.

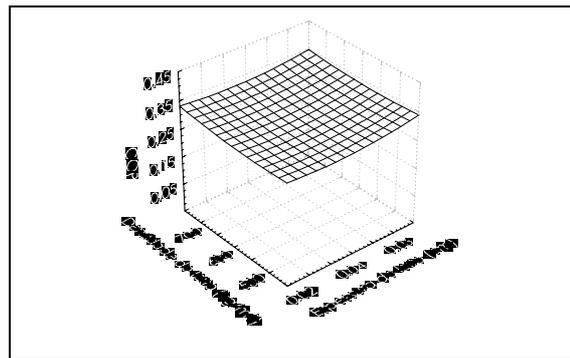


Figura 4. Variação do COP em função da densidade e da espessura do leito, com as demais variáveis no nível zero.

Efeito na produção diária de gelo

Os efeitos das variáveis independentes, sobre a produção diária de gelo por $\text{kg}_{\text{adsorvente}}$, obtido pelo PEFC, estão mostrados nas Fig. 5 e 6, onde observa-se que a produção de gelo é mais sensível às alterações da temperatura do fluido de aquecimento e do ar, respectivamente, quando a espessura do leito está no nível inferior.

Pela Figura 7, verifica-se que a produção diária de gelo é máxima, para uma espessura de leito no nível inferior e a densidade acima do valor médio.

Constata-se pela Figura 8, que para manter uma mesma produção de gelo, tem que se aumentar a temperatura do fluido de aquecimento concomitante à temperatura do ar. Se o ar estivesse a 15°C seria necessário um fluido de aquecimento a pelo menos 80°C , para atingir uma produção de 400g de gelo, enquanto que se o ar estivesse a 30°C , seria necessário um fluido com temperatura acima de 108°C .

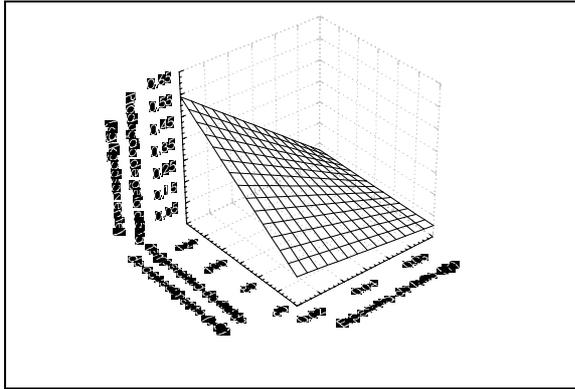


Figura 5. Variação da produção diária de gelo por $\text{kg}_{\text{adsorvente}}$, em função da temperatura do fluido de aquecimento e da espessura do leito, com as demais variáveis no nível zero.

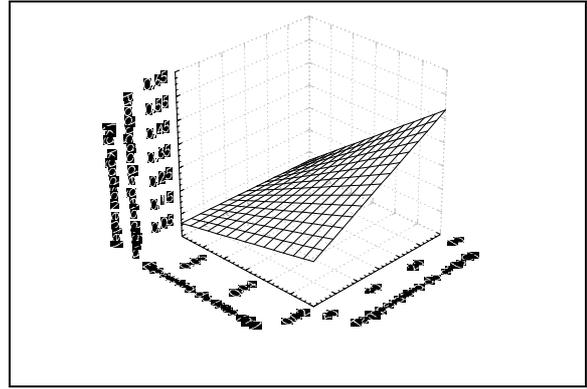


Figura 6. Variação da produção diária de gelo por $\text{kg}_{\text{adsorvente}}$, em função da espessura do leito e da temperatura do ar, com as demais variáveis no nível zero.

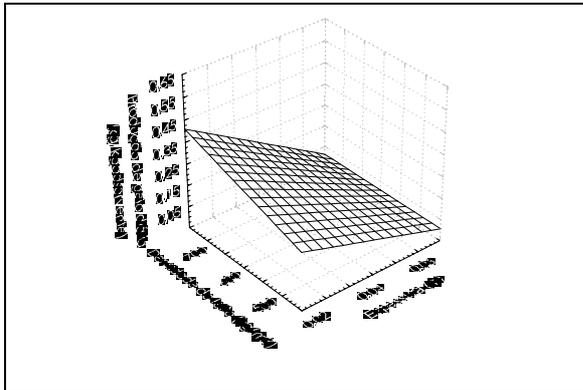


Figura 7. Variação da produção diária de gelo por $\text{kg}_{\text{adsorvente}}$, função da densidade e da espessura do leito, com as demais variáveis no nível zero.

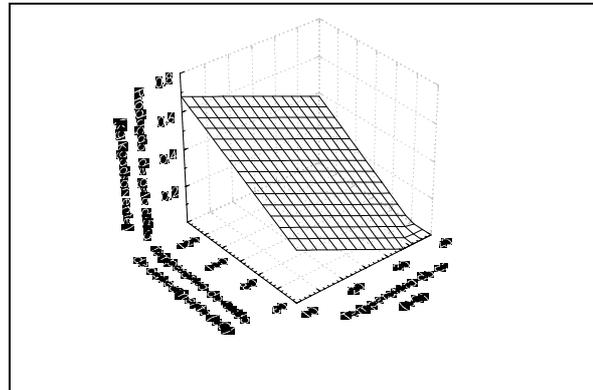


Figura 8. Variação da produção diária de gelo por $\text{kg}_{\text{adsorvente}}$, função da temperatura do fluido de aquecimento e do ar, com a espessura do leito no nível inferior e a densidade no nível superior.

3.2 Ciclo modificado

Com o intuito de reduzir mais o tempo do ciclo frigorífico e com isso aumentar a produção de gelo diária, sugeriu-se uma modificação na etapa de aquecimento, onde em lugar de aquecer o leito isotericamente até temperatura T_d (Figura 2), aqueceu-se o leito até a temperatura final T_f e só então abriu-se a válvula de comunicação entre este e o condensador.

Esta modificação foi sugerida ao se observar que a derivada da temperatura do leito pelo tempo é proporcional à derivada da pressão pelo tempo, conforme OLIVEIRA (1999) e mantendo-se o reator fechado até o final do aquecimento, tem-se uma maior variação da pressão e como consequência da temperatura também.

Tanto no ensaio de referência quanto no ensaio com o ciclo modificado, considera-se a temperatura do fluido de aquecimento de $95\text{ }^\circ\text{C}$, a temperatura do ar de $25\text{ }^\circ\text{C}$, a densidade do leito de 607 kg m^{-3} e a espessura do leito de 2 cm . Estes valores escolhidos são os mesmos do

nível zero do PEFC, com exceção do valor da espessura do leite, que é o mesmo do nível $-\alpha$, o menor do PEFC.

Tabela 2. Resultado dos 2 ensaios realizados para avaliação do ciclo modificado.

Ensaio	COP	Massa de gelo ($\text{kg kg}^{-1}_{\text{adsorvente}}$)
01 (Referência)	0,27	0,293
02	0,12	0,348

O processo modificado resultou em um tempo reduzido e uma produção de gelo diária aumentada em relação ao processo de referência. A produção diária de gelo teve um aumento de 19 %, enquanto o COP teve uma redução de 56 %. Esta redução no COP indica que é necessário fornecer mais energia para o reator na fase de aquecimento do leite e dessorção no processo modificado, que no processo de referência.

O tempo do processo de referência foi cerca de 7 horas e meia, enquanto que o tempo do processo modificado foi cerca de 6 horas, indicando que se pode conseguir até 4 ciclos de refrigeração por dia.

Cristoph, (1994) conseguiu uma produção diária de 211 g de gelo por $\text{kg}_{\text{adsorvente}}$ enquanto Pons & Guillemint, (1986) conseguiram uma produção de 280 g por $\text{kg}_{\text{adsorvente}}$, considerando-se que a produção de gelo ocorra nas mesmas condições do nosso experimento. Ambos utilizaram refrigeradores por adsorção aquecido apenas por energia solar, sendo que Cristoph (1994) utilizou o par carvão ativado e amônia enquanto Pons & Guillemint (1986) utilizaram o par carvão ativado e metanol.

Tanto o ciclo de referência (ensaio 01) quanto o ciclo modificado (ensaio 02) produziram mais gelo que os dois ciclos que utilizam apenas energia solar no aquecimento do reator.

4. CONCLUSÕES

Verifica-se que para produção de gelo é fundamental que a espessura do leite esteja no nível inferior, enquanto que para o COP é praticamente indiferente a espessura do leite.

Para uma densidade e espessura de leite no nível intermediário, tem-se a melhor produção diária de gelo e COP, se a temperatura do fluido térmico de aquecimento estiver ao redor de $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ e a temperatura do ar estiver até $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nas condições citadas acima, o COP foi em torno de 0,37 e a produção diária de gelo, cerca de $200\text{ g kg}^{-1}_{\text{adsorvente}}$.

Para a temperatura do ar até $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, a temperatura do fluido de aquecimento de $95\text{ }^{\circ}\text{C}$, um leite de espessura ao redor de 0,02 m e densidade de 600 kg m^{-3} , pode-se obter um COP de 0,33 e uma produção diária de gelo de cerca de $300\text{ g kg}^{-1}_{\text{adsorvente}}$.

4.1 Sobre o COP

A baixas temperaturas do ar, a temperatura do fluido térmico praticamente não interfere no COP, porém a altas temperaturas do ar, é necessário que a temperatura do fluido térmico seja acima de $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ para se ter um COP de aproximadamente 0,3.

A densidade e a espessura do leite do leite praticamente não interfere no COP do sistema.

4.2 Sobre a produção diária de gelo por $\text{kg}_{\text{adsorvente}}$

A espessura do leite e a temperatura do fluido de aquecimento são as variáveis mais importantes que afetam a produção diária de gelo. O aumento da espessura do leite reduz a produção diária de gelo enquanto o aumento da temperatura do fluido de aquecimento a eleva.

A produção diária de gelo é mais sensível à mudança na temperatura do fluido de aquecimento e do ar, quando a espessura está no nível inferior e atinge seus mais altos valores, quando a temperatura do ar estiver no nível inferior e a do fluido de aquecimento no nível superior .

Quando se tem a temperatura do ar e do fluido térmico de aquecimento, no nível intermediário, os melhores valores de produção diária de gelo são obtidas com a densidade acima do nível intermediário e com a espessura do leito no nível inferior.

4.3 Sobre o processo modificado

O processo modificado teve seu tempo reduzido e sua produção de gelo diária aumentada em relação ao processo de referência. O processo modificado teve uma redução no tempo de 22 %, um aumento na produção diária de gelo de 19 % e um COP reduzido em 56 %, quando comparado ao ciclo de referência

REFERÊNCIAS

- Cristoph,R.E., 1988, Performance limitations of adsorption cycles for solar cooling, Solar Energy, vol. 41, n. 1, pp 21-31.
- Cristoph,R.E., 1989, Activated carbon adsorption cycles for refrigeration and heat pumping, Carbon, vol. 27, n. 1, pp 63-70.
- Cristoph,R.E., 1994, Ammonia carbon solar refrigerator for vaccine cooling, Renewable Energy, vol. 5, pp 502-508.
- Cristoph,R.E., 1996, Evaluation of alternative refrigerant-adsorbent pairs for refrigeration cycles, Applied Thermal Engineering, vol. 16, n. 11, pp 891-900.
- Holman,J.P., 1983, Transferência de Calor, McGraw-Hill, São Paulo.
- Karagiorgias,M.; Meunier,F., 1986, Etude de la relaxation d'un reacteur à zeolite pendant la desorption éclair provoquée par un échelon de pression, Chem. Eng. Journal, vol. 32.
- Oliveira, G. R., 1999, Modelagem e simulação de um sistema de refrigeração por adsorção para produção de gelo, utilizando energias alternativas, Tese de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil.
- Pons,M.;Guilleminot,J.J., 1986, Design of an experimental solar powered, solid-adsorption ice maker, Journal of Solar Energy Engineering, vol. 108, pp 332-337.
- Ruthven,D.M., 1984, Principles of Adsorption and Desorption Processes. Wiley, New York.
- Tamainot-Telto, Z., Cristoph, R. E., 1997, Adsorption refrigerator using monolithic carbon ammonia pair, Int. J. Refrig., vol. 20, n. 2, pp 146-155.

MODELLING AND SIMULATION OF AN ADSORPTION REFRIGERATOR TO PRODUCE ICE, USING ALTERNATIVE ENERGY SOURCES

Abstract. *This work intends to model and simulate dynamically an adsorption/desorption system for ice production, using thermal energy from different sources, and ammonia/activated charcoal like adsorbent pair. With a complete factorial experimental design, we could assess in our interested answers, the influence of changing different variables from a lower level to a higher level. With the result from all tests, we could find best conditions to produce more ice per day. A modification was proposed on the usual refrigeration cycle. This modification lead the system to produce $300 \text{ g day}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ adsorbent of ice.*

Keywords: Adsorption, Refrigeration, Modelling, Alternatives energies, Experimental design.