

# MODELAGEM MATEMÁTICA E SIMULAÇÃO NUMÉRICA EM REGIME TRANSIENTE DE UM TROCADOR DE CALOR REGENERADOR

L.S.Martins

Departamento de Engenharia Mecânica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Centro Politécnico. Caixa Postal 19011, CEP: 81531-990, Curitiba-Paraná, Brasil.  
**Palavras-Chaves:** otimização de parâmetros de projeto, modelagem global e local, regime transiente.

## RESUMO.

Considerações econômicas e ambientais trouxeram um novo interesse nos refrigeradores alimentados por uma fonte de calor. Um esforço considerável de pesquisa tem sido investido no estudo de sistemas de refrigeração desse tipo nos últimos anos. Esses sistemas podem utilizar fontes de energia renováveis, tais como energia solar e gases quentes expelidos por outros sistemas, como proposto por Stolk (1980). Quando a refrigeração tem de ser fornecida de maneira ininterrupta, torna-se necessário estabelecer uma fonte de energia suplementar. A melhoria, otimização e controle dos refrigeradores desse tipo é um aspecto crucial, que é independente do tipo de fonte de energia. Uma análise teórica de um sistema térmico, para ser confiável, deve ser capaz de captar os aspectos “realísticos” dos processos de transferência de calor que ocorrem na instalação. A presente pesquisa focará suas atenções na modelagem de um trocador de calor regenerador que fará parte de um sistema de refrigeração por absorção. (Suri e Ayyash -1982), Neste projeto será introduzido um modelo matemático e simulação numérica em regime transiente de um trocador de calor regenerador, que faz parte do modelo que simula o comportamento do refrigerador como um todo, Bejan *et al*(1995).

O modelo matemático consistirá em equacionar os balanços de energia (1ª Lei da Termodinâmica) para cada componente do sistema, levando em consideração as propriedades dos fluidos.

A análise permitirá a formação de um sistema de equações diferenciais ordinárias e algébricas não lineares, tendo o tempo como variável independente, que será integrado usando o método de Runge-Kutta 4ª ordem.

O trocador de calor apresentado é um trocador de calor regenerativo, ou seja, armazena certa quantidade de energia em si. Envolvermos o tubo interno por onde passa o fluido refrigerante, com uma matriz metálica, o que provoca o contato direto entre a matriz e o fluido quente. Além da troca de calor com o fluido refrigerante, teremos o aquecimento desta matriz metálica no período transiente que chegará a uma temperatura muito próxima do fluido quente.

A aplicação prática desse trocador é visível no caso de um ciclo onde os gases quentes automotivos ou indústrias são utilizados e há uma eventual não – constância da vazão de gases. Por exemplo, caso um automóvel fique preso num engarrafamento, ou sinal de trânsito não haverá emissão de gases quentes suficiente para haver troca, pois a rotação baixa e a vazão de gases quentes cairá, porém o funcionamento do refrigerador não deve ficar comprometido. Durante estes instantes o sistema funcionará graças à energia térmica residual que a malha armazena. Segue o modelamento.

Dividimos o trocador em elementos de volume. A Figura 1 representa uma célula qualquer “m” do trocador e as trocas térmica a que está sujeita.

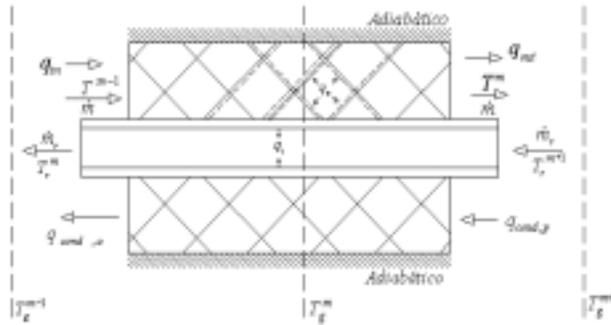


Fig.1 – Fluxos de calor na célula “m”

Sistema 1: Grade do regenerado e tubo:

$$q_g + q_{cond,p} + q_{cond,a} + q_t = m_g^m c_g \frac{dT_g^m}{dt}$$

$q_g$ : quantidade de calor fornecida ou cedida pela grade- matriz metálica .

$q_{cond,p}$ : quantidade de calor fornecida ou cedida por condução através da grade da célula m para a célula m+1.

$q_{cond,a}$ : quantidade de calor fornecida ou cedida por condução através da grade da célula m para a célula m-1.

$q_t$ : quantidade de calor fornecida ou cedida por convecção para o fluido interno.

Sistema 2: Fluido quente em movimento

$$q_{in} - q_{out} - q_g = m^m c_v \frac{dT^m}{dt}$$

Sistema 3: Fluido interno em movimento:

$$-q_t + \dot{m}_r c_{pr} (T_r^{m+1} - T_r^m) = \dot{m}_r^m c_{vr} \frac{dT_r^m}{dt}$$

Comparamos as respostas para duas configurações diferentes de porosidade. Os gráficos foram plotados num período de tempo até o regime permanente se estabelecer. É visto no Gráfico 1 que o tempo para entrar em regime é maior no trocador onde tem-se a *menor* porosidade ou seja, no trocador onde temos mais massa metálica. Quanto maior o volume da massa metálica, maior será a área para troca de calor, o que implicará num maior regime transiente. Obs.: O gráfico de porosidade igual a 0.95 está defasado em 200 s.

O que se verifica é que embora haja uma transiência maior, os gráficos de  $\phi=0.5$  apresentam temperaturas mais próximas uma das outras, ou seja, no regime permanente os gases estão em temperaturas mais homogêneas.

Tal pode ser comprovado quando são lidos os valores de efetividade para cada caso de porosidade.

$$\varepsilon = 0.99 ; \phi = 0.5$$

$$\varepsilon = 0.93 ; \phi = 0.95 - \text{A porosidade é representada pela letra } \phi \text{ ou somente por "phi".}$$

A justificativa para esta diferença reside no fato de que com porosidade mais baixa, há mais área de contato com o fluido quente.

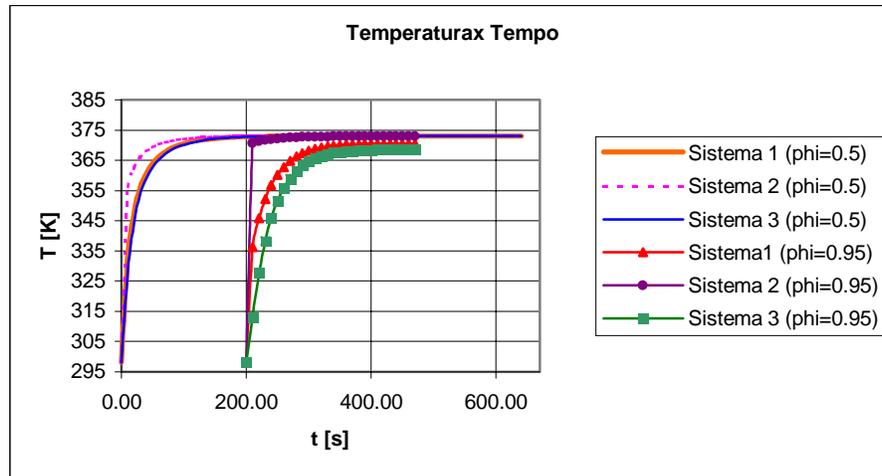


Gráfico 1

O regenerador (matriz) deve ser capaz de manter a troca de calor até que a vazão se estabilize, caso haja variação. Simulamos esta situação fazendo a vazão de fluido quente variar segundo uma função periódica: a função cosseno.

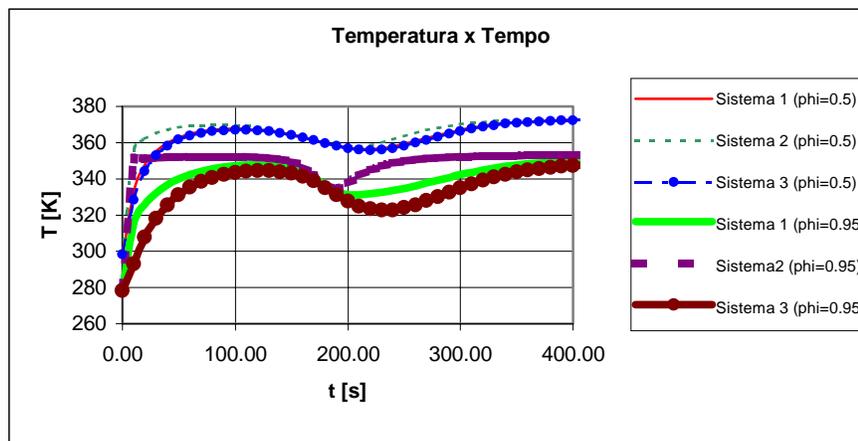


Gráfico 2

O Gráfico 2 mostra que a matriz correspondeu com as expectativas; vemos que houve uma oscilação de fluxo quente e a matriz fez com que isto não fosse bruscamente sentido pelo sistema quando comparada ao caso de  $\phi = 0.95$  (brusca queda de temperatura).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Stolk, A. L. New possibilities for absorption refrigeration machines for energy saving *International Journal of Refrigeration* (1980) 3 78-82
- Suri, R. K., Ayyash, S. Solar absorption cooling effect on operational parameters on power saving *International Journal of Refrigeration* (1982) 5 274-279
- Bejan, A., Vargas, J. V. C., Sokolov, M. Optimal allocation of a heat exchanger inventory in heat driven refrigerators *International Journal of Heat and Mass Transfer* (1995).