

REFRIGERAÇÃO MAGNETOCALÓRICA E SUA APLICAÇÃO EM TEMPERATURA AMBIENTE

Juliano W. F. Heidrich

Laboratórios de Pesquisa em Refrigeração e Termofísica – Polo
Departamento de Engenharia Mecânica
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
Trindade – Caixa Postal 476 – Florianópolis (SC) – 88040-900
juliano@polo.ufsc.br

Alvaro T. Prata

Laboratórios de Pesquisa em Refrigeração e Termofísica – Polo
Departamento de Engenharia Mecânica
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
Trindade – Caixa Postal 476 – Florianópolis (SC) – 88040-900
prata@polo.ufsc.br

Resumo. *O presente trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de um modelo matemático para a simulação numérica de um refrigerador magnetocalórico para aplicações próximas à temperatura ambiente. Recentemente pesquisas têm sido realizadas na área de refrigeração magnetocalórica, com o objetivo de torná-la viável como uma alternativa aos atuais sistemas de refrigeração por compressão mecânica de vapores. O ponto principal desta tecnologia está em uma propriedade que certos materiais apresentam, onde sofrem uma variação em sua temperatura sob a aplicação ou retirada de um campo magnético externo. Os estudos concentram-se em diversas áreas como na obtenção do campo magnético, diferentes configurações dos sistemas de refrigeração magnetocalórica, diferentes ciclos de refrigeração, materiais magnetocalóricos, modelagem do efeito magnetocalórico. Neste trabalho será proposto um modelo para simulação de um refrigerador magnetocalórico.*

Palavras chave: Magnetocalórico, Refrigeração, Gadolínio, Simulação.

1. Introdução

O efeito magnetocalórico (MCE) ou variação adiabática de temperatura, a qual é detectada pelo aquecimento ou resfriamento de materiais magnéticos devido à variação de um campo magnético, foi descoberto originalmente no ferro. A natureza do MCE foi explicada e seu uso prático para atingir baixas temperaturas, em um processo conhecido como desmagnetização adiabática, já no começo do séc. XX.

O MCE é intrínseco a todos os materiais magnéticos e é devido ao acoplamento da rede interna de partículas magnéticas com um campo magnético interno, o que altera a parcela magnética da entropia do sólido. Tal como a compressão de um gás, a magnetização isotérmica do paramagneto ou de um ferromagneto leve, reduz a entropia e, num processo reversível, a desmagnetização (similar à expansão de um gás) restaura a entropia magnética do sistema, sem a aplicação do campo externo. Uma explicação mais detalhada do efeito magnetocalórico e a apresentação de uma modelagem matemática podem ser encontradas em (Pecharsky *et al*, 1999, Kitanovsk *et al*, 2006, Rowe *et al*, 2005 e Shir *et al*, 2004) também apresentam um modelo matemático para a termodinâmica do MCE, apresentando resultados muito próximos aos dados experimentais.

2. Termodinâmica do MCE

O equacionamento aqui mostrado foi desenvolvido por Shir *et al*. (2004), sendo este escolhido por apresentar uma maneira clara para o tratamento das equações do problema. O MCE surge da aplicação da primeira e da segunda lei da termodinâmica para um sistema magnético. Para exploração deste modelo, deve-se considerar um material que experimenta um processo de trabalho magnético resultante da variação de um campo magnético e um processo de troca de calor como visto na Fig. 1. A entropia do material sólido, s , varia com o tempo como uma função do campo aplicado H e de sua temperatura, T , ou seja, $s = s(H, T)$. Observa-se que o efeito magnetocalórico não é uniforme em relação à temperatura. Define-se temperatura de Curie de um material magnetocalórico, a temperatura na qual o efeito magnetocalórico é máximo. Uma temperatura reduzida, T_R , pode ser definida como a diferença entre a temperatura do material e a temperatura de Curie, $T_R = T - T_C$. A Fig. 2 mostra o efeito magnetocalórico em função da temperatura reduzida. O diferencial da entropia em relação ao campo magnético e à temperatura, é mostrado na Eq. (2).

$$ds = \left(\frac{\partial s}{\partial T} \right)_H dT + \left(\frac{\partial s}{\partial H} \right)_T dH \quad (2)$$

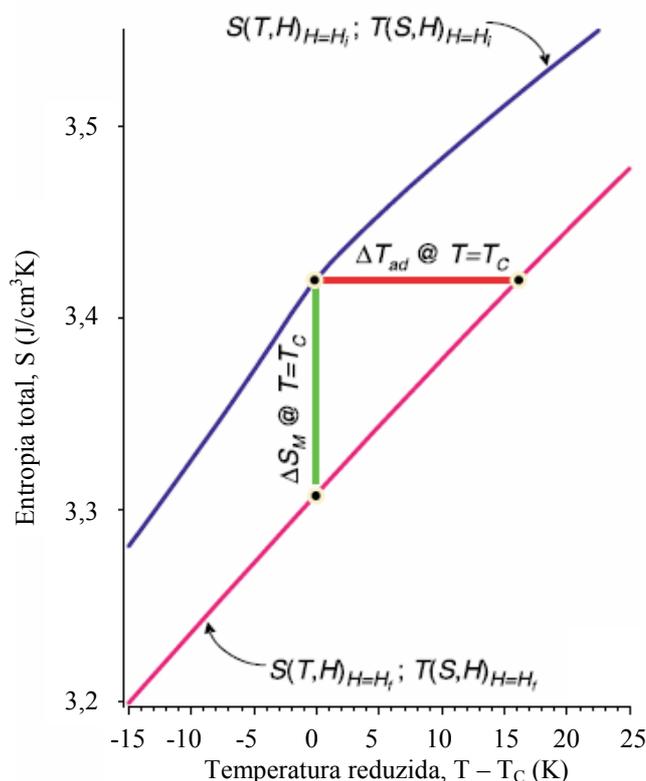


Figura 1. Entropia do material, aplicado o campo inicial (\$H_i\$) e final (\$H_f\$)

O calor específico a campo aplicado constante, para um material magnetocalórico é definido como,

$$C_H = T \left(\frac{\partial s}{\partial T} \right)_H \quad (3)$$

A partir da relação de Maxwell, a variação de entropia com a intensidade do campo a uma temperatura constante, pode ser relacionada com a magnetização \$M\$, momento magnético por unidade de volume [ampère/metro], de acordo com,

$$\left(\frac{\partial s}{\partial H} \right)_T = \frac{\mu_0}{\rho} \left(\frac{\partial M}{\partial T} \right)_H \quad (4)$$

Onde \$\rho\$ é a massa específica do material magnetocalórico e \$\mu_0\$ é a permeabilidade magnética no vácuo. A magnetização pode ser relacionada com a intensidade do campo magnético, \$H\$, e com a indução magnética, \$B\$ [tesla], através da equação \$B = \mu_0(H + M)\$.

Substituindo as Equações (4) e (3) na Equação (2), a variação na entropia do refrigerante sólido pode ser expressa como,

$$ds = \frac{C_H}{T} dT + \frac{\mu_0}{\rho} \left(\frac{\partial M}{\partial T} \right)_H dH \quad (5)$$

Se for assumido que os processos de magnetização e desmagnetização são processos adiabáticos reversíveis, ou seja, não há calor perdido para as redondezas, a variação total na entropia do sistema \$S\$, que consiste do reticulado de refrigerante sólido magnetocalórico e do gás dentre os espaços, será igual a zero.

$$dS_{total} = (m ds)_{sólido} + (m ds)_{gás} = 0 \quad (6)$$

Para um refrigerante de material poroso com a densidade do material sólido muito maior do que a densidade do gás contido nos interstícios, a massa do gás pode ser ignorada comparada com a massa do sólido. Então da Eq. (6) resulta que a variação de entropia do refrigerante sólido durante a magnetização ou desmagnetização é zero. Portanto, a Eq. (5) pode ser rearranjada, resultando em,

$$dT = -\frac{T}{C_H} \frac{\mu_0}{\rho} \left(\frac{\partial M}{\partial T} \right)_H dH \quad (7)$$

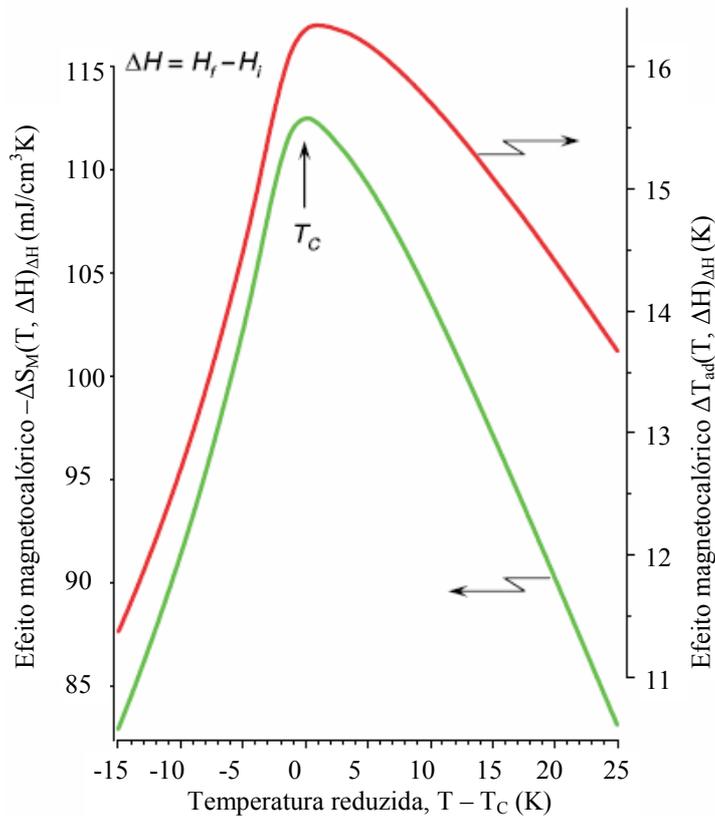


Figura 2. MCE próximo à temperatura de Curie, para o gadolínio

Nota-se que todos os termos da Eq. (7), com a exceção de ρ e μ_0 , são dependentes do tempo. Para um incremento no tempo dt , resulta,

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{T}{C_H} \frac{\mu_0}{\rho} \left(\frac{\partial M}{\partial T} \right)_H \frac{dH}{dt} \quad (8)$$

A Eq. (8) mostra a variação da temperatura do refrigerante magnético na presença de um campo externo variável. Shir *et al.* (2005) dão seqüência ao desenvolvimento do modelo, apresentando correlações para a transferência de calor entre o material magnético e o gás. Esta equação diferencial de primeira ordem, para os processos de magnetização e desmagnetização no ciclo de regeneração magnética ativa (AMR), pode ser resolvida através de métodos numéricos conhecidos. Para resolver a Eq. (8) e obter a temperatura do material sólido durante a os processos, a taxa de variação da magnetização em relação à temperatura, a um campo magnético constante, e a taxa de variação da intensidade do campo magnético com o tempo devem ser conhecidas. As propriedades de alguns materiais magnetocalóricos podem ser encontradas em Tegus (2003). Smaili *et al.* (1998) apresentam uma forma de cálculo das propriedades termodinâmicas do material magnetocalórico, principalmente o C_H .

3. Problema do Refrigerador Magnetocalórico

3.1. Introdução

Um sistema de refrigeração magnetocalórica é constituído basicamente de um material magnetocalórico, fluido para transferência de calor e trocadores de calor com o meio externo. Há diferentes configurações de sistema possíveis, bem como diferentes materiais que podem ser utilizados e diferentes formas de obtenção do campo magnético. Recentemente foi realizado o primeiro congresso internacional em refrigeração magnetocalórica, o *First International Conference on Magnetic Refrigeration at Room Temperature*, em setembro de 2005, na cidade de Montreux na Suíça, onde foram apresentados os últimos desenvolvimentos realizados na área de sistemas e materiais para refrigeração magnetocalórica. A Fig. 3 mostra um esquema do problema a ser resolvido neste trabalho.

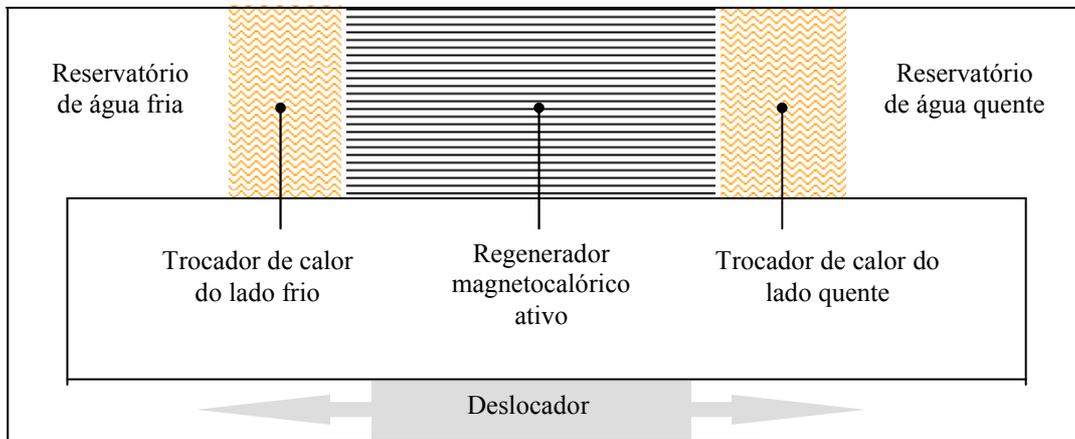


Figura 3. Esquema do refrigerador magnetocalórico a se resolvido no presente trabalho

O esquema da Fig. 3 se constitui de dois reservatórios de água, dois trocadores de calor, uma bomba e o material magnetocalórico. Os reservatórios armazenam a água utilizada para retirar ou receber o calor gerado no material magnetocalórico e nos trocadores. A água passa pelo trocador frio, recebendo calor do ambiente e pelo trocador quente, rejeitando calor para o ambiente. O deslocador é responsável pelo transporte da água entre os reservatórios. Entre os trocadores está alojado o material magnetocalórico, onde será aplicado o campo magnético.

A Fig. 4 mostra algumas variáveis do problema como a direção do escoamento de água, onde \dot{m} é o fluxo de massa, T_C e T_H são as temperaturas dos trocadores frio e quente, respectivamente, \dot{Q}_C e \dot{Q}_H são os calores trocados nos trocadores frio e quente, respectivamente, B é o campo magnético aplicado.

No presente trabalho, o material magnetocalórico utilizado para as simulações foi o gadolínio, por ter propriedades amplamente mapeadas.

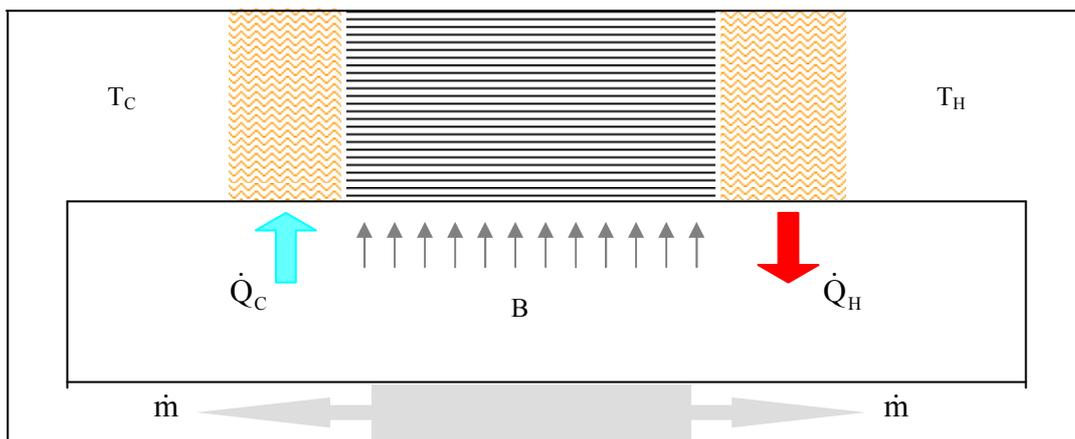


Figura 4. Variáveis mais importantes do problema

Diferentes máquinas de refrigeração fazem uso de diferentes geometrias para o material magnetocalórico. As mais encontradas nos trabalhos com refrigeração magnetocalórica são placas planas paralelas e arranjos com partículas de material sólido. O presente trabalho apresenta um modelo para cada uma destas configurações.

Na Figura 5 é apresentada com maiores detalhes a geometria da configuração de placas planas paralelas, onde as dimensões são dadas em mm, A variável “a” representa o espaçamento entre cada lâmina e “b” a espessura da lâmina.

Na configuração com partículas sólidas, o volume ocupado é o mesmo, porém a massa varia de acordo com a porosidade do arranjo.

A Tabela 1 apresenta as propriedades térmicas do material usadas nas simulações.

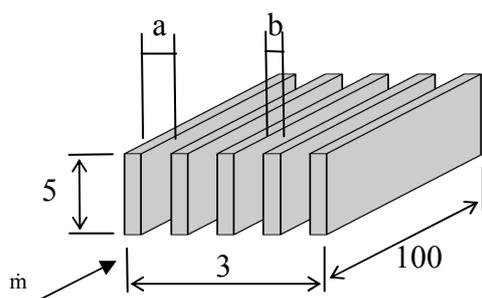


Tabela 1. Propriedades térmicas do gadolínio

Propriedade	
Temperatura de Curie (T_C)	293 K
Massa específica (ρ)	7901 kg/m ³
Calor específico à T_C (c_p)	236 J/kg.K
Condutividade térmica (k)	11 W/m.K

Figura 5. Geometria do material magnetocalórico empregado no regenerador para a configuração de placas planas paralelas

3.2. Modelo matemático para o escoamento e a transferência de calor no refrigerador magnetocalórico

As Equações (9) modelam a água no interior dos reservatórios e são, respectivamente, a equação de estado, a equação da conservação da massa e a equação da conservação da energia.

$$de = c_{p,f} dT, \quad dm/dt = \dot{m}, \quad d(me)/dt = \dot{m}h \quad (9)$$

Onde e é a energia interna, $c_{p,f}$ o calor específico, T a temperatura, h a entalpia na fronteira de entrada e saída de massa e \dot{m} o fluxo de massa.

Para o fluido no interior do regenerador, a equação da energia, Eq. (12a) é semelhante à encontrada em Heidrich, (2002), para a configuração com placas planas paralelas. A Eq. (12b) é a equação da energia para o fluido no interior do regenerador, para o arranjo de partículas, semelhante ao encontrado em Engelbrecht *et al.* (2005).

$$\rho_f c_f A_p \frac{\partial T_f}{\partial t} = -\dot{m} c_f \frac{\partial T_f}{\partial x} + \frac{Nu_D k_f L_{rt}}{D_h} (T_r - T_f) \quad (12a)$$

$$\rho_f c_f A_c \varepsilon \frac{\partial T_f}{\partial t} = -\dot{m} c_f \frac{\partial T_f}{\partial x} + \frac{Nu_D k_f a_s A_c}{D_h} (T_r - T_f) \quad (12b)$$

Nas equações anteriores, ρ_f é a massa específica do fluido, c_f é o calor específico do fluido, A_s é a área transversal de passagem do fluido, T_f é a temperatura do fluido, T_r é a temperatura do regenerador, Nu_D é o número de Nusselt, k_f é a condutividade térmica do fluido, D_h é o diâmetro hidráulico, L_{rt} é o comprimento da seção de troca de calor por convecção, ε é a porosidade, a_s é a superfície de troca por unidade de volume, A_c é a área transversal. O número de Nusselt para ambas as configurações, placas e arranjo de partículas, é retirado da literatura sobre transferência de calor.

$$\rho_r c_r A_t \frac{\partial T_r}{\partial t} = k_r A_t \frac{\partial^2 T_r}{\partial x^2} + \frac{Nu_D k_f L_{rt}}{D_h} (T_f - T_r) + \dot{q}'_M \quad (13a)$$

$$\rho_r c_r A_c (1 - \varepsilon) \frac{\partial T_r}{\partial t} = k_{eff} A_c \frac{\partial^2 T_r}{\partial x^2} + \frac{Nu_D k_f}{D_h} A_c (T_f - T_r) + \dot{q}'_M \quad (13b)$$

Nas equações anteriores, ρ_r é a massa específica do sólido, c_r é o calor específico do sólido, A_t é a área transversal de passagem do fluxo de calor por condução no sólido, k_{eff} é a condutividade térmica efetiva do sólido, \dot{q}'_M é a geração de calor devido à variação do campo magnético por unidade de comprimento do regenerador.

Para o regenerador, a equação da energia é semelhante à encontrada em Heidrich, (2002), para a configuração com placas planas paralelas, adicionando o termo de geração de calor devido à variação do campo magnético. Para o arranjo de partículas, semelhante ao encontrada em Engelbrecht *et al.* (2005).

A geração de calor devido à variação do campo magnético possui formas diferentes para ambas as configurações de regenerador. Para o caso de placas, e para o caso do arranjo de partículas sólidas, as gerações de calor são dadas por, respectivamente,

$$\dot{q}'_M = \rho_r c_r A_r \kappa_M \frac{dB}{dt}, \quad \dot{q}'_M = \rho_r c_r A_c (1 - \varepsilon) \kappa_M \frac{dB}{dt} \quad (14a)$$

onde $\kappa_M = dT_r/dB$, e pode ser obtido através das propriedades do material magnetocalórico, e pode ser encontrado em Tegus (2003).

O calor trocado instantaneamente nos trocadores de calor frio e quente, respectivamente, são dadas por,

$$\dot{Q}_C = \dot{m} c_f (T_{in} - T_C), \quad \dot{Q}_H = \dot{m} c_f (T_{in} - T_H) \quad (15a)$$

onde T_{in} é a temperatura do fluido na entrada de cada trocador.

A capacidade de refrigeração da máquina, avaliada ao nível do trocador de calor frio, é obtida pela integração do calor trocado instantaneamente ao longo do ciclo, conforme mostrado a seguir,

$$\bar{Q}_C = f \oint \dot{Q}_C dt \quad (16)$$

onde f é a frequência de operação da máquina.

4. Resultados e Discussões

As equações que formam o sistema a ser resolvido, são discretizadas através do método dos volumes finitos, conforme explorado em Patankar, (1980). O sistema linear gerado é resolvido pelo método Gauss-Seidel.

Para a solução do problema, inicialmente uma condição de operação foi escolhida com o objetivo de analisar as variáveis do problema de forma detalhada. Esta condição escolhida não teve o objetivo de gerar um resultado para comparar com algum experimento ou outro modelo, tendo em vista que resultados com este nível de detalhamento não estão disponíveis.

A condição escolhida para este caso foi uma frequência de operação de 0,5Hz, fluxo de massa com perfil senoidal, em média 0,25 litros/minuto, em cada sentido do fluxo. As temperaturas dos trocadores de calor quente e frio, foram mantidas, respectivamente, iguais a 24°C e 16°C e um campo magnético aplicado uniformemente sobre o material, variando de 0 a 2T.

Na configuração para regenerador com placas planas paralelas, foram escolhidas 28 placas iguais de comprimento de 100mm, altura de 5mm, espessura de 1mm e espaçadas de 0,1mm, o que resulta em uma massa de aproximadamente 110g. Na configuração do arranjo de partículas, foi escolhido um volume de 100x30x5mm³ e uma porosidade de 36%, o que resulta em uma massa de aproximadamente de 118g.

Cada simulação é feita de forma a abranger um ciclo de refrigeração magnética com quatro processos bem distintos, são eles: aplicação do campo magnético, transferência de calor para a água, retirada do campo magnético e transferência de calor para o sólido.

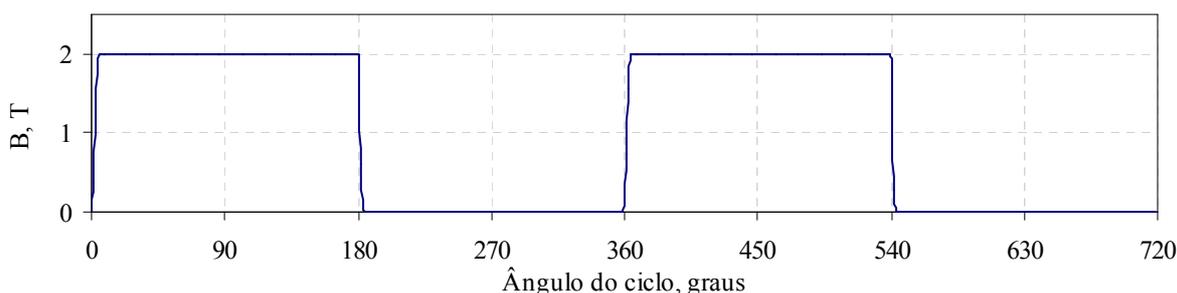


Figura 6. Campo magnético aplicado no regenerador ao longo de cada ciclo

A Fig. 6 apresenta o campo magnético ao longo do ciclo, que é aplicado no regenerador. Observa-se que as regiões de variação do campo magnético ocorrem de 180° em 180°, sendo que somente nestes pontos há geração de calor no material devido à aplicação do campo magnético.

O gráfico da Fig. 7 mostra que só existe geração de calor no material, nos instantes em que há variação do campo magnético. Quando o campo magnético aumenta, a geração de calor é positiva, e o material tem a sua temperatura aumentada. No contexto de materiais magnetocalóricos, uma geração de calor positiva ocorre quando, sob a aplicação do campo magnético sobre ele, seus dipolos magnéticos se alinham, e, para isto, liberam energia para sua rede cristalina. Quando o campo magnético diminui, a geração de calor é negativa, e o material tem a sua temperatura diminuída. No contexto de materiais magnetocalóricos, uma geração de calor negativa ocorre quando, sob a retirada do

campo magnético sobre ele, seus dipolos magnéticos voltam a ficar desalinhados, e, para isto, absorvem energia da sua rede cristalina.

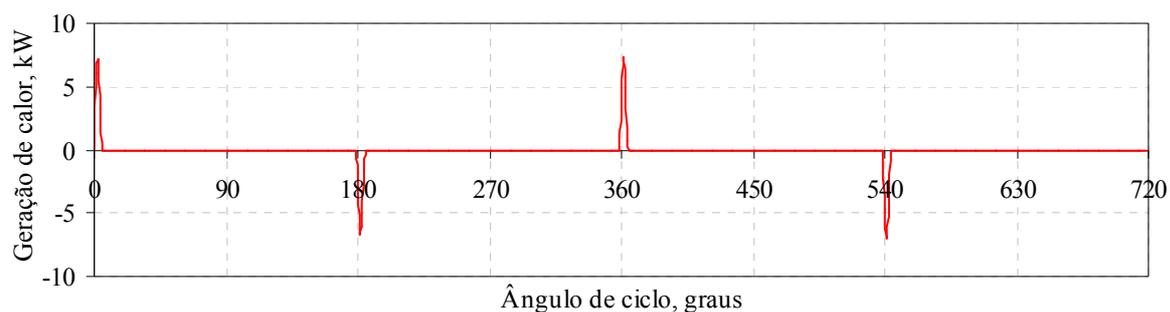


Figura 7. Geração de calor devido à aplicação do campo magnético

Nos intervalos entre as gerações de calor, a água é deslocada entre os reservatórios, transferindo o calor gerado e absorvido para os trocadores de calor. A Fig. 8 apresenta o perfil do fluxo de massa ao longo do ciclo.

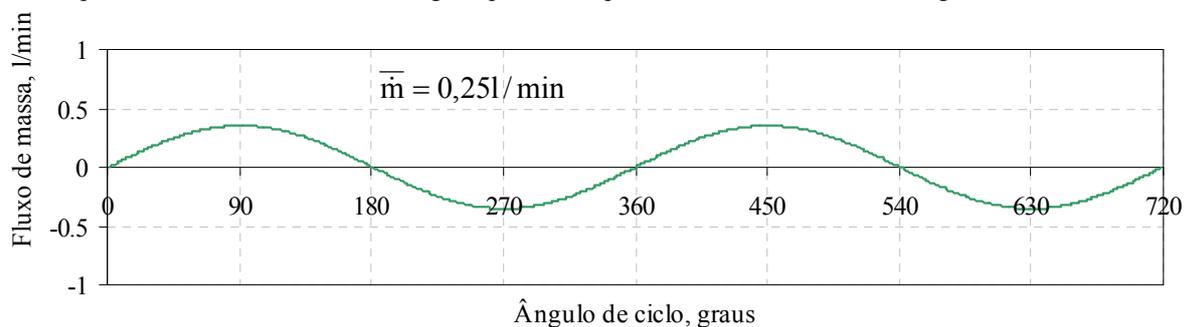


Figura 8. Fluxo de massa através do material magnetocalórico

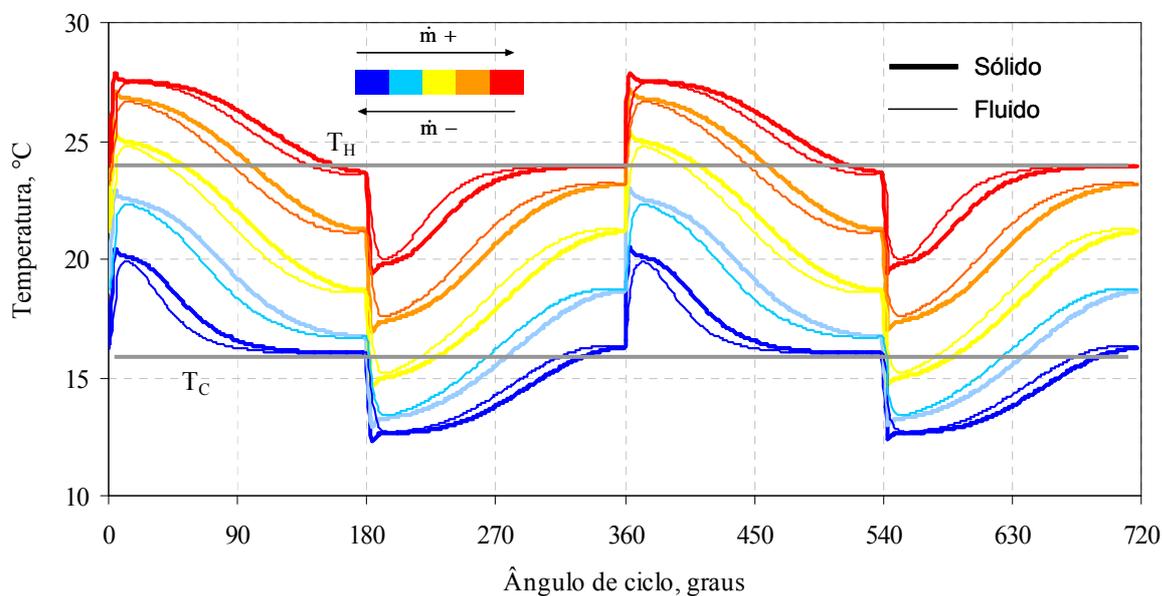


Figura 9. Perfil de temperatura ao longo do ciclo de refrigeração

O fluxo de massa positivo é no sentido do reservatório frio para o reservatório quente, e negativo, do reservatório quente para o reservatório frio. A Fig. 9 apresenta os perfis de temperatura no sólido e no fluido ao longo do ciclo de refrigeração, para cada seção transversal do regenerador.

Na Fig. 10 é mostrado o perfil de temperatura do regenerador ao longo do seu comprimento e nos intervalos de cada processo do ciclo de refrigeração. Os processos do ciclo termodinâmico estão identificados na Fig. 11.

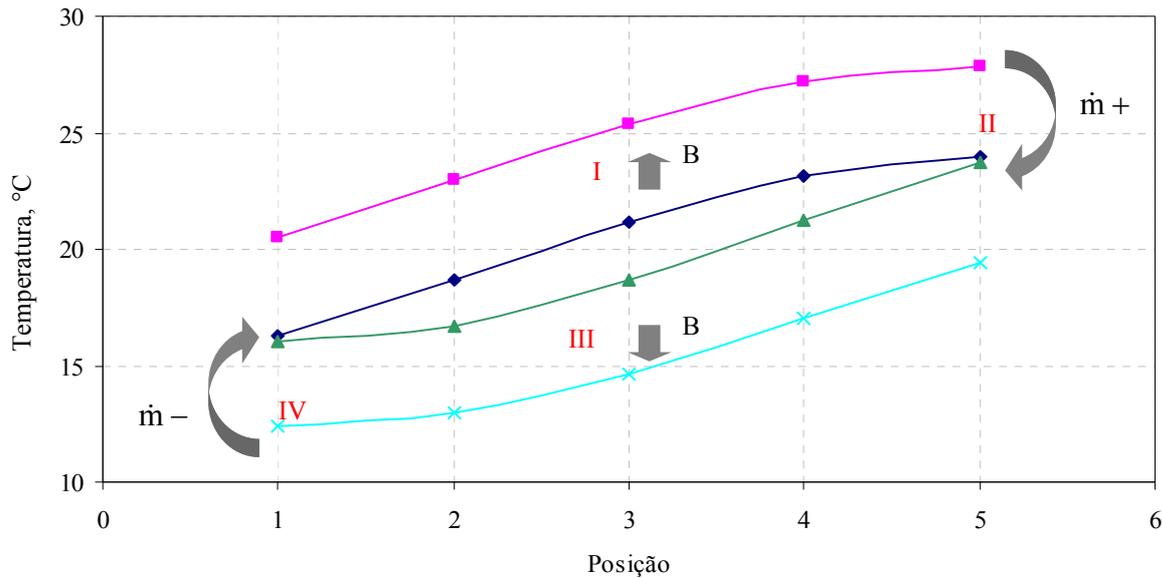


Figura 10. Perfil de temperatura ao longo do comprimento

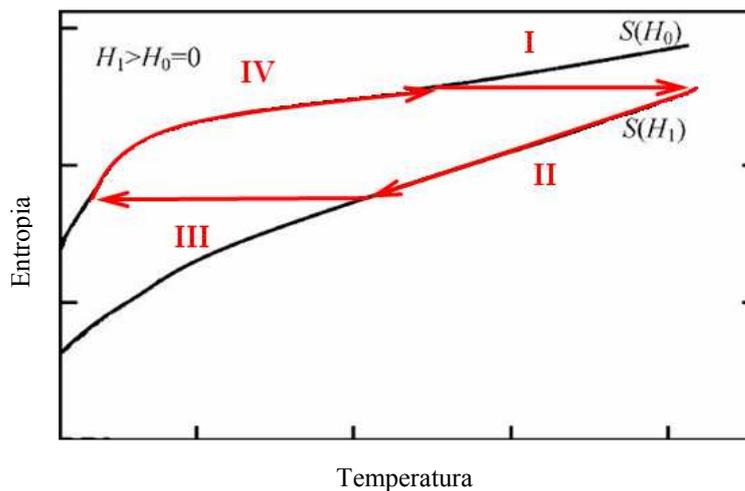


Figura 11. Processos no ciclo de refrigeração magnetocalórica.

Conforme ilustrado na Fig. 11, o processo I mostra o instante em que o campo magnético é aplicado e as temperaturas elevam-se em cada seção do regenerador. O processo II ocorre quando o fluido passa através do material sólido e retira o calor gerado. No processo III, o campo magnético é retirado e o material esfria abaixo da temperatura ambiente. Por fim, no processo IV, o fluido passa através do regenerador, resfriando-se e transferindo a energia novamente ao sólido.

Os calores nos trocadores de calor, frio e quente são mostrados na Fig. 12.

O calor que sai do refrigerador é convencionalmente considerado como sendo positivo e o que entra, negativo. A capacidade de refrigeração da máquina ao nível dos trocadores é obtida através da integração da curva de calor instantâneo no trocador frio. Para o caso atual, esta capacidade foi de aproximadamente 17,4W.

Uma série de simulações, em diferentes condições, foram realizadas com o objetivo de comparar a capacidade e a temperatura mínima atingida pela máquina, com valores experimentais reportados na literatura. Na Fig. 13 é mostrada a variação da capacidade de refrigeração da máquina em função do fluxo de massa médio, para diferentes ΔT impostos nos trocadores. Os resultados a seguir são para a configuração do regenerador com um arranjo de partículas sólidas e frequência de operação de 2Hz.

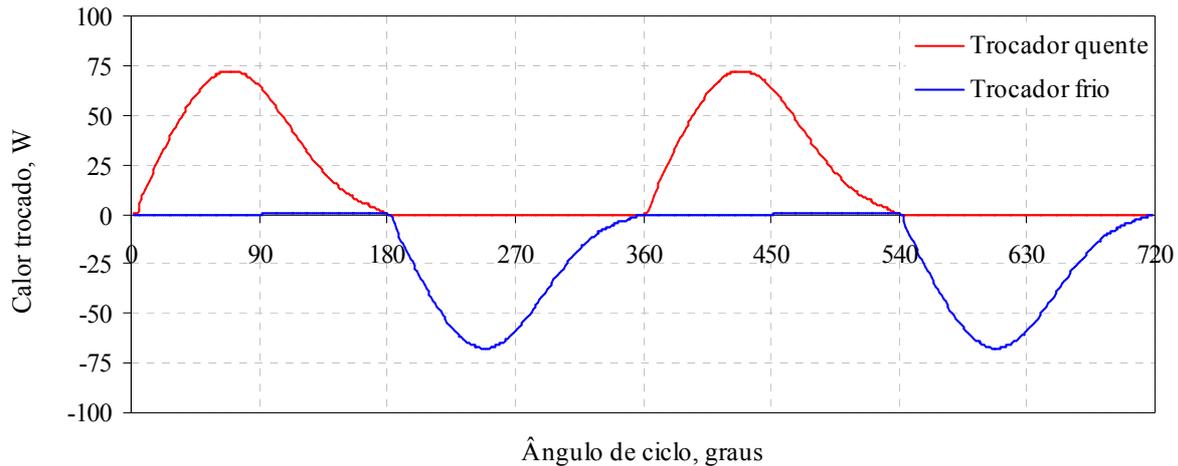


Figura 12. Calores trocados instantaneamente nos trocadores de calor

Observa-se no gráfico da Fig. 13 que, quanto maior o ΔT nos trocadores de calor, menor é a capacidade de refrigeração para um mesmo fluxo de massa.

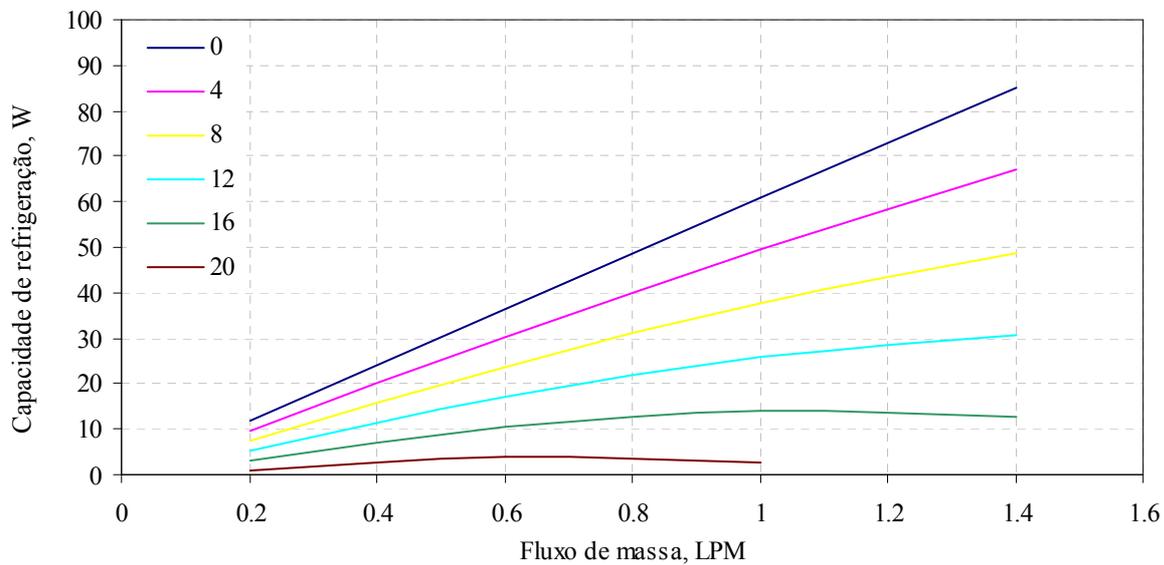


Figura 13. Capacidade em função do fluxo de massa para diferentes ΔT nos trocadores em $^\circ\text{C}$

Observa-se também, que para os ΔT nos trocadores de 20°C e 16°C , existe um fluxo de massa tal que a capacidade de refrigeração possui um valor de máximo local, e este valor não é o mesmo para cada ΔT . As demais curvas apresentam uma tendência a ter um ponto de máximo local para um fluxo de massa maior que 1.4 l/min. Um estudo da otimização de parâmetros como fluxo de massa e frequência, para a obtenção da maior capacidade de refrigeração, é apresentado por Teixeira *et al.* (2006).

No gráfico da Fig. 14 é mostrado o ΔT nos trocadores em função do fluxo de massa para cada valor de capacidade de refrigeração, comparando com os resultados experimentais obtidos por Pecharsky, (2005). Os casos simulados procuraram ter como parâmetros os mesmos do experimento. Porém, o autor dos experimentos não fornece alguns detalhes importantes para que os casos sejam reproduzidos com exatidão. Detalhes como geometria, massa de material utilizado e local exato onde as temperaturas são medidas, são omitidas pelo autor. A comparação, no entanto, é válida sob o ponto de vista qualitativo de forma a observar a tendência das curvas. Neste contexto os resultados da simulação se mostraram consistentes com os experimentos. A validação completa do modelo, comparando com experimentos mais detalhados, é objeto de estudo atual. Da Fig. 14 pode-se tirar uma informação importante da máquina, o ΔT máximo atingido pelos trocadores de calor, que no caso em questão ficou próximo dos 23°C .

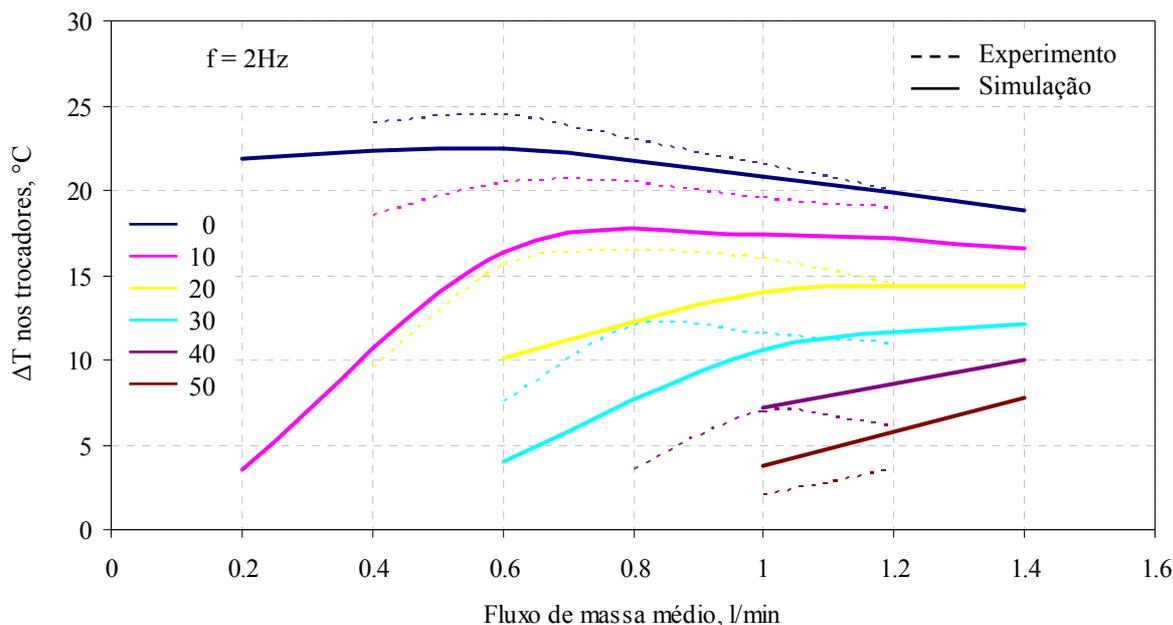


Figura 14. ΔT nos trocadores em função do fluxo de massa para diferentes capacidades de refrigeração em W

Para o cálculo do coeficiente de performance da máquina (COP), é necessário computar todas as perdas envolvidas e a energia consumida para manter a máquina em operação. Estas potências são: perda de carga no regenerador, nos trocadores de calor e nos reservatórios, energia consumida para colocar e retirar o material magnetocalórico da influência do campo magnético, etc. O cálculo do COP do refrigerador magnetocalórico é objeto de estudos posteriores.

5. Conclusões

O presente estudo apresentou um modelo para simulação de um refrigerador magnetocalórico. Após uma descrição do efeito magnetocalórico e suas características, o problema foi formulado e um modelo foi proposto baseado na termodinâmica de materiais magnetocalóricos e em modelos para escoamento de fluidos em regeneradores. Os resultados mostram em detalhes os perfis de temperatura ao longo do fluido e do sólido, características da operação de refrigeradores magnetocalóricos e comparações com experimentos. Para a máquina simulada no presente trabalho, a máxima diferença de temperatura obtida foi cerca de 23°C, com capacidade zero, e a máxima capacidade foi de 50W com uma diferença de temperatura de 7°C. Os resultados das comparações da simulação com os experimentos se mostraram consistentes, possibilitando a utilização desta ferramenta para o projeto de máquinas magnetocalóricas.

6. Referências Bibliográficas

- Engelbrecht, K., Nellis, G. and Klein, S., 2005, "A Numerical Model of an Active Magnetic Regenerator Refrigeration System, Final Report", Air Conditioning and Refrigeration Technology Institute;
- Heidrich, J. W. F., 2002, "Modelagem e Análise Computacional de uma Máquina Stirling de Pistão Livre", Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil;
- Kitanovsk, A., Egolf, E. W., 2006, "Thermodynamics of Magnetic Refrigeration", International Journal of Refrigeration", Vol. 29, pp 3-21;
- Patankar, S. V., 1980, "Numerical Heat Transfer and Fluid Flow", McGraw-Hill Book Company;
- Pecharsky, V. K., 2005, "Thermodynamics of the Magnetocaloric Effect", Notas do Curso ministrado no Instituto de Física da Unicamp, Vol. 01, pp. 30-32.
- Pecharsky, V. K., Gschneidner Jr., K. A., 1999, "Magnetocaloric Effect and Magnetic Refrigeration", Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol. 200, pp 44-56;
- Rowe, A., Tura, A., Dikeos, J., Chahine, R., 2005, "Near Room Temperature Magnetic Refrigeration", Proceedings of the International Green Energy Conference", n°48;
- Shir, F., Della Torre, E., Bennett, L. H., Mavriplis, C. and Shull, L. D., 2004, "Modeling of Magnetization and Demagnetization in Magnetic Regenerative Refrigeration", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 40, n°4, pp 2098-2100;
- Shir, F., Mavriplis, C., Bennett, L. H. and Della Torre, E., 2005, "Analysis of Room Temperature Magnetic Regenerative Refrigeration", International Journal of Refrigeration, Vol. 28, pp 616-627;

- Smaïli, A., Chahine, R., 1998, "Thermodynamic Investigations of Optimum Active Magnetic Regenerators", Cryogenics, Vol. 38, pp 247-252;
- Tegus, O., 2003, "Novel Materials for Magnetic Refrigeration", Ph. D. Thesis, Van der Waals-Zeeman Instituut, Universiteit van Amsterdam;
- Teixeira, R. P., 2006, "Otimização de Regeneradores para Operação em Refrigeração Magnetocalórica", 11º Encontro Nacional de Ciências Térmicas – ENCIT 2006;

MAGNETOCALORIC REFRIGERATION AND ITS APPLICATION AT ROOM TEMPERATURE

Juliano W. F. Heidrich

Research Laboratories for Emerging Technologies in Cooling and Thermophysics - Polo
Mechanical Engineering Department
Federal University of Santa Catarina – UFSC
Trindade – Mail Box 476 – Florianópolis (SC) – 88040-900 - Brazil
juliano@polo.ufsc.br

Alvaro T. Prata

Research Laboratories for Emerging Technologies in Cooling and Thermophysics - Polo
Mechanical Engineering Department
Federal University of Santa Catarina – UFSC
Trindade – Mail Box 476 – Florianópolis (SC) – 88040-900 - Brazil
prata@polo.ufsc.br

Abstract

The present work has for objective the development of a mathematical model for numerical simulation of a magnetocaloric refrigerator for applications at room ambient temperature. Recently studies has been made in the area of magnetocalórica refrigeration, for objective to become it viable as an alternative the current refrigeration systems, like vapor compression. The main point of this technology is in a property that certain materials present, where suffers a variation in its temperature under the application of an external magnetic field. The studies are concentrated in diverse areas as in the attainment of the magnetic field, different configurations of the refrigeration magnetocaloric systems, different refrigeration cycles, magnetocaloric materials, modeling of the magnetocaloric effect. In this work a model for simulation of a magnetocaloric refrigerator will be proposed.

Keywords: Magnetocaloric, Refrigeration, Gadolinium, Simulation.