



GESTÃO ENERGÉTICA EM REFRIGERADORES E FREEZERS DOMÉSTICOS

Melo.C. M. T;

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica(FEMEC)

Laboratório de Sistema Térmicos(LEST)

Endereço: Av. João Naves de Ávila 2160, Campus Santa Mônica, Bloco M. Uberlândia M.G., CEP: 38400-902

Email: cmtmelo@mecanica.ufu.br

Mendoza. O. S. H; Oliveira. J. E. S; Tumialan. J. A; Resende. J. V.

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica(FEMEC)

Laboratório de Sistema Térmicos(LEST)

Endereço: Av. João Naves de Ávila 2160, Campus Santa Mônica, Bloco M. Uberlândia M.G., CEP: 38400-902

e-mail: oscarhm@mecanica.ufu.br jesolivei@mecanica.ufu.br jtumialan@mecanica.ufu.br
jvresende@mecanica.ufu.br

***Resumo.** Gestão energética de refrigeradores domésticos sempre foi o objetivo dos fabricantes, visando aumentar o rendimento dos equipamentos de refrigeração. Este trabalho analisa os resultados obtidos até hoje e mostra que ainda é possível realizar melhoramentos se os equipamentos são devidamente operados. Baseado em pesquisa bibliográfica, que propõe novos termos de gestão energética de refrigeradores domésticos, pretendemos com este trabalho marcar limites de operação desejados de serem implementados para, a partir destes pontos, propor medidas de melhoria nos componentes dos sistemas atuais, visando o aumento do rendimento do ponto de vista termoeconômico.*

Palavras chave: *refrigeração, energia, refrigeradores, freezers*

1. INTRODUÇÃO

O congelamento ou resfriamento dos alimentos é feito com o objetivo de reduzir a ação destrutiva das enzimas sobre os alimentos e então preservá-los por mais tempo. O desenvolvimento de produtos congelados fez-se necessário a partir de mudanças sociais que estão acontecendo, onde a força de trabalho passou a ter uma maior participação da mulher, que cada vez tinha menos tempo para preparar a comida em casa. (R. Volti, 1995).

No Brasil, os refrigeradores e freezers domésticos são responsáveis por uma parcela considerável do consumo de energia elétrica e a cada dia verifica-se que o número destes equipamentos vem aumentando. (Paiva. M. S, 1992) Os refrigeradores e freezers são equipamentos que possuem o maior consumo elétrico no setor residencial, com participação de 32%, respondem por 17% do consumo do setor comercial e 9% do consumo global de energia elétrica do país. (Duarte. J. A, 2000)

Hoje há uma grande preocupação em relação à degradação da natureza provocada pela liberação, no ambiente, de gases poluentes como os CFCs. Estes destrõem a camada de ozônio responsável por filtrar os raios ultravioletas provenientes da luz solar. Outro problema a ser

mencionado é o aquecimento exagerado do planeta pelo efeito estufa, o qual é provocado pela liberação excessiva de CO₂ na atmosfera e uma das fontes que contribuem para este problema é o grande consumo de eletricidade (Evelyn,1998 ; Edward,1995).

Trabalhos de pesquisa relacionados à questão do consumo de energia, particularmente aplicáveis na área de refrigeração, tem sido desenvolvidos nos últimos anos e avanços tecnológicos significativos foram obtidos. Ausente a tal evolução, só em anos recentes, o Brasil despertou para a importância da Gestão do uso final da energia. Tal circunstância se deve a aspectos históricos nos quais a oferta e demanda de energia no país não representava problemas que justificasse investimentos em pesquisas ligadas ao tema (Pimenta, 1997). Por este motivo existe uma grande necessidade de se buscar novos métodos que reduzam o consumo energético dos equipamentos da área de frios, aumentando a eficiência dos mesmos. A modificação do consumo de energia destes equipamentos, devido às modificações dos parâmetros de projetos quando da instalação em condições reais destes equipamentos foi estudada resultando em uma metodologia de teste desenvolvida para avaliação energética de freezers no âmbito de um programa governamental de etiquetagem. (Stewart, 1987)

Dentre os processos de produção de frio alimentar, o mais utilizado é o de compressão mecânica , independentemente se este é um processo de refrigeração doméstica ou comercial.

Dentre os componentes do sistema de refrigeração, o compressor responde por aproximadamente 80% da energia consumida, e um aumento da eficiência deste equipamento aumenta a eficiência de todo o sistema.

Um dos parâmetros que medem a eficiência do sistema de refrigeração é o Coeficiente de Performance (COP) que relaciona a capacidade frigorífica com a potência do compressor. A eficiência do compressor em sistemas operando em ciclos de compressão a vapor é função da temperatura de evaporação e condensação do sistema.

O uso correto do compressor é estabelecido em faixas de temperatura de evaporação e condensação adequadas, pois fora desta faixa a eficiência deste equipamento torna-se muito baixa desperdiçando energia elétrica através do efeito Joule, ou seja, a energia elétrica é perdida para o ambiente através de energia térmica. (Evelyn,1998; Willian,1997)

Algumas alterações no compressor, no ciclo ou nos demais componentes do sistema de refrigeração podem promover o aumento da eficiência energética. Modificações como o uso de dois evaporadores, construção de dois ciclos de refrigeração, um para o refrigerador e outro para o freezer, aumento da espessura de isolamento de portas e gabinetes ou uso de isolamento a vácuo, degelo adaptativo utilizando gases quentes da condensação ao invés de resistência elétrica, dentre outras, têm sido propostas com o objetivo de reduzir o consumo energético.(Evelyn, 1998; Edward,1997)

Neste sentido o presente trabalho tem como objetivo avaliar a gestão de energia em refrigeradores e freezers domésticos através de alterações do ciclo de refrigeração baseados nos pontos de operação recomendados pelos fabricantes de compressores.

2. COMPORTAMENTO OPERACIONAL DOS COMPRESSORES

O ciclo de refrigeração é composto pelo evaporador, condensador, compressor e um mecanismo de expansão que pode ser uma válvula de expansão ou um tubo capilar, conforme a figura 01, a seguir.

Existem no mercado um número muito grande de diferentes marcas e modelos de compressores. Neste estudo foram selecionados catálogos de fabricantes de três marcas específicas ELECTROLUX, BITZER e EMBRACO. Foram também selecionados alguns modelos aleatórios de compressores, devido à inviabilidade de se trabalhar com todos eles.

Coletando dados de temperatura de evaporação, temperatura de condensação, potência frigorífica e potência consumida construiu-se gráficos correlacionando tais grandezas permitindo assim a análise do comportamento dos compressores.

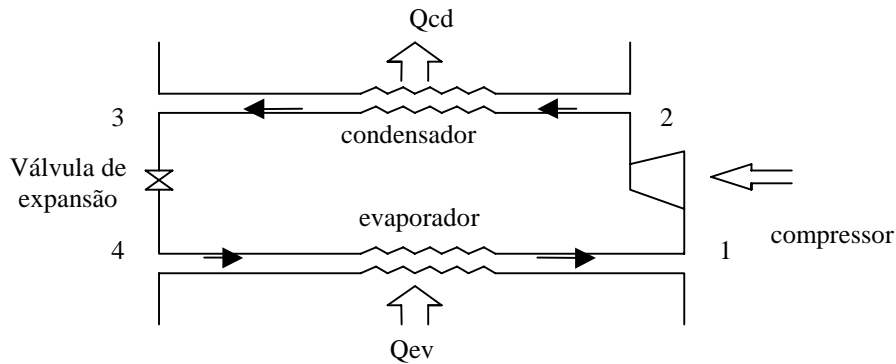


Figura 01: Esquema simplificado do ciclo de refrigeração por compressão a vapor.

O catálogo da Bitzer apresenta uma faixa de temperatura de evaporação variando de -40°C a $12,5^{\circ}\text{C}$, sendo que temperaturas na faixa de 0°C a $12,5^{\circ}\text{C}$ são consideradas temperaturas altas, de -15 a -5°C temperaturas médias e de -40 a -20°C consideradas temperaturas baixas, enquanto a potência varia de 1700 a 30000 Watts. A temperatura de condensação varia de 30 a 50°C . Este fabricante, em especial, trabalha com compressores de potências elevadas em comparação com as marcas EMBRACO e ELECTROLUX. Neste trabalho foram avaliados seis modelos específicos que foram 2T.2; 2N.2; 4T.2; 4P.2; 4N.2, 2H.2.

No caso da marca EMBRACO, foram escolhidos quatro modelos: PW3.5k9; PW4.5k11; PW5.5k14W; FF6Bkw.

A ELECTROLUX foi representada por três modelos, o GD24AA, GL35AA e o GD36AA. Nos catálogos da ELECTROLUX os modelos especificados trabalham com temperatura de evaporação variando de -35 a -15°C . Nestes catálogos, a temperatura de condensação varia numa faixa de 40 a 60°C . As capacidades de resfriamento ou potências frigoríficas são relativamente baixas e estão numa faixa de 22 a 114 Watts. Os catálogos já trazem os Coeficientes de Performance (COP) relacionados com as respectivas temperaturas de evaporação e condensação. Estes modelos específicos trabalham com o fluido R134a, que tem a vantagem de não conter CFCs mas proporcionar uma menor eficiência.

Os compressores da EMBRACO, selecionados para estudo, trabalham numa faixa de temperatura de evaporação variando de -30 a 15°C , sendo que as potências referidas nestas temperaturas tiveram como condições de teste uma temperatura de condensação fixa em $54,4^{\circ}\text{C}$. A potência destes compressores está numa faixa de 66 a 882Watts.

3. METODOLOGIA

A análise do comportamento dos compressores é baseado na eficiência de Carnot que por sua vez é função de alguns parâmetros como a temperatura de evaporação, temperatura de condensação e potência frigorífica. A eficiência de Carnot (η_{Carnot}) é definida na Eq (01) como a razão do Coeficiente de Performance real (COP_{real}) em condições de carga total sobre um coeficiente de performance de Carnot ideal. Este leva em consideração as temperaturas de evaporação e de condensação conforme mostra a Eq (03).

Por definição:

$$\eta_{\text{carnot}} = \frac{\text{COP}_{\text{real}}}{\text{COP}_c} \quad (01)$$

onde:

$$COP_{real} = \frac{\dot{Q}_{ev}}{W} \quad (02)$$

\dot{Q}_{ev} : potência frigorífica

W : potência do compressor

e

$$COP_c = \frac{T_{ev}}{(T_{cd} - T_{ev})} \quad (03)$$

T_{ev} : temperatura de evaporação

T_{cd} : temperatura de condensação

O comportamento do compressor também é verificado através da razão da potência frigorífica sobre a potência frigorífica máxima onde esta refere-se à potência máxima obtida de catálogos de fabricantes de compressores. Este procedimento de adimensionalização tem a finalidade de simplificar os cálculos e permitir uma maior generalização dos resultados.

4. COMPORTAMENTO PARAMÉTRICO DOS COMPRESSORES

A Fig (2) mostra o gráfico da potência frigorífica em função da temperatura de evaporação, para diferentes marcas de compressores, verifica-se que a potência frigorífica aumenta com o aumento da temperatura de evaporação, o que já era esperado.

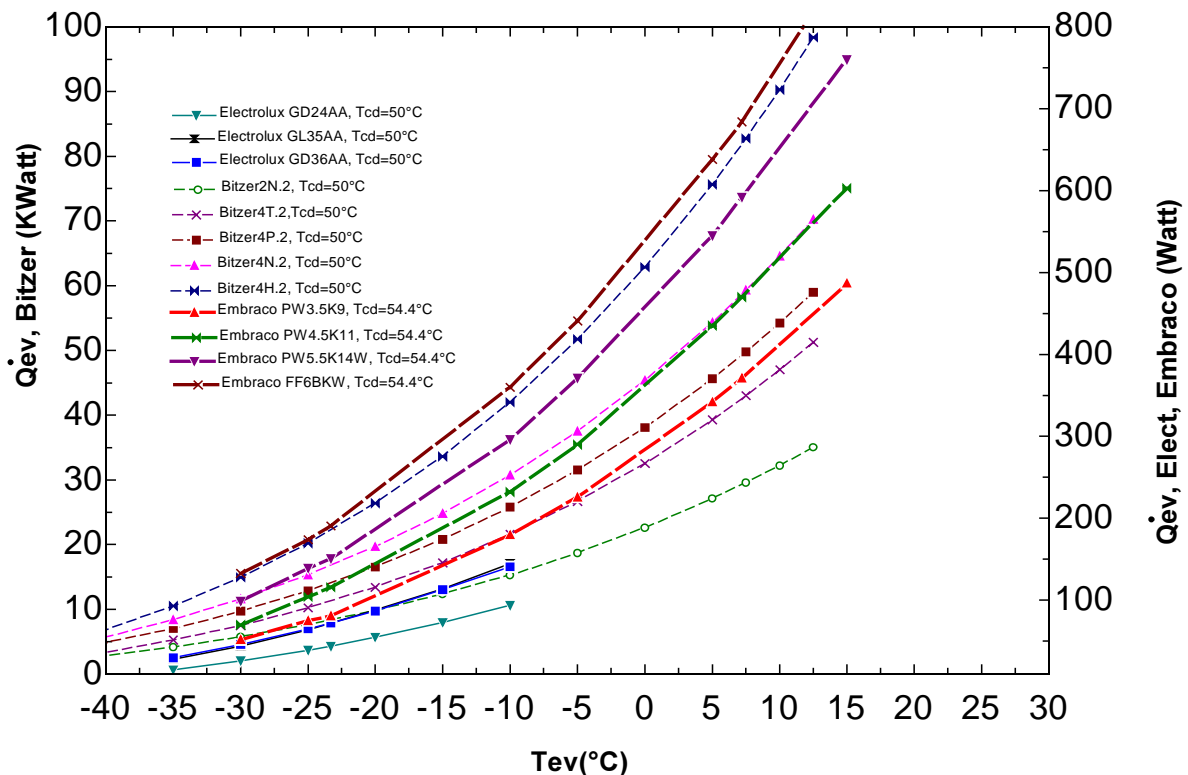


Figura 02: Gráfico da capacidade frigorífica em função da temperatura de evaporação para compressores Bitzer, Embraco e Electrolux.

A Fig. (03) mostra a eficiência de Carnot, definida pela Eq (01) ($\eta = \text{COP} / \text{Ec}$) versus a diferença de temperatura ($\Delta T = T_{\text{cd}} - T_{\text{ev}}$). Verifica-se que a eficiência de Carnot dos compressores BITZER está na faixa de 0,35 a 0,6 enquanto que dos compressores EMBRACO (potências intermediárias) está entre 0,05 a 0,4 e da ELECTROLUX (menores potências) onde a eficiência varia de 0,1 a 0,3. Verifica-se então que compressores com maiores potências são mais eficientes pois suas perdas relativas são menores. Isto justifica a baixa eficiência dos refrigeradores compactos verificada por Durte (2000), Pimenta (1992) e Oliveira (2001), em recentes estudos

Para o compressor BITZER modelo 2T.2, plotando-se η_{carnot} versus $\Delta T = T_{\text{cd}} - T_{\text{ev}}$, verifica-se que a diferença de temperatura ótima é aproximadamente igual a 40°C, para toda a faixa de operação destes compressores, sendo igual para os diferentes sistemas analisados. Este comportamento é verificado na Fig. (04) abaixo. Neste caso deve-se ter o cuidado de observar que a temperatura de condensação, no Brasil é aproximadamente constante e igual a 50°C, devido ao próprio clima. Casos em que o sistema trabalha fora da faixa ótima da diferença de temperatura ($\Delta T = T_{\text{cd}} - T_{\text{ev}}$), o sistema apresenta baixa eficiência, e isto é o que ocorre na maioria das vezes pois para o sistema estar operando no ponto ótimo a temperatura de evaporação deve ser aproximadamente igual a 10°C. Esta temperatura é muito alta em comparação com a temperatura dos freezers, que se encontram no mercado, variando numa faixa de -30 a -10°C.

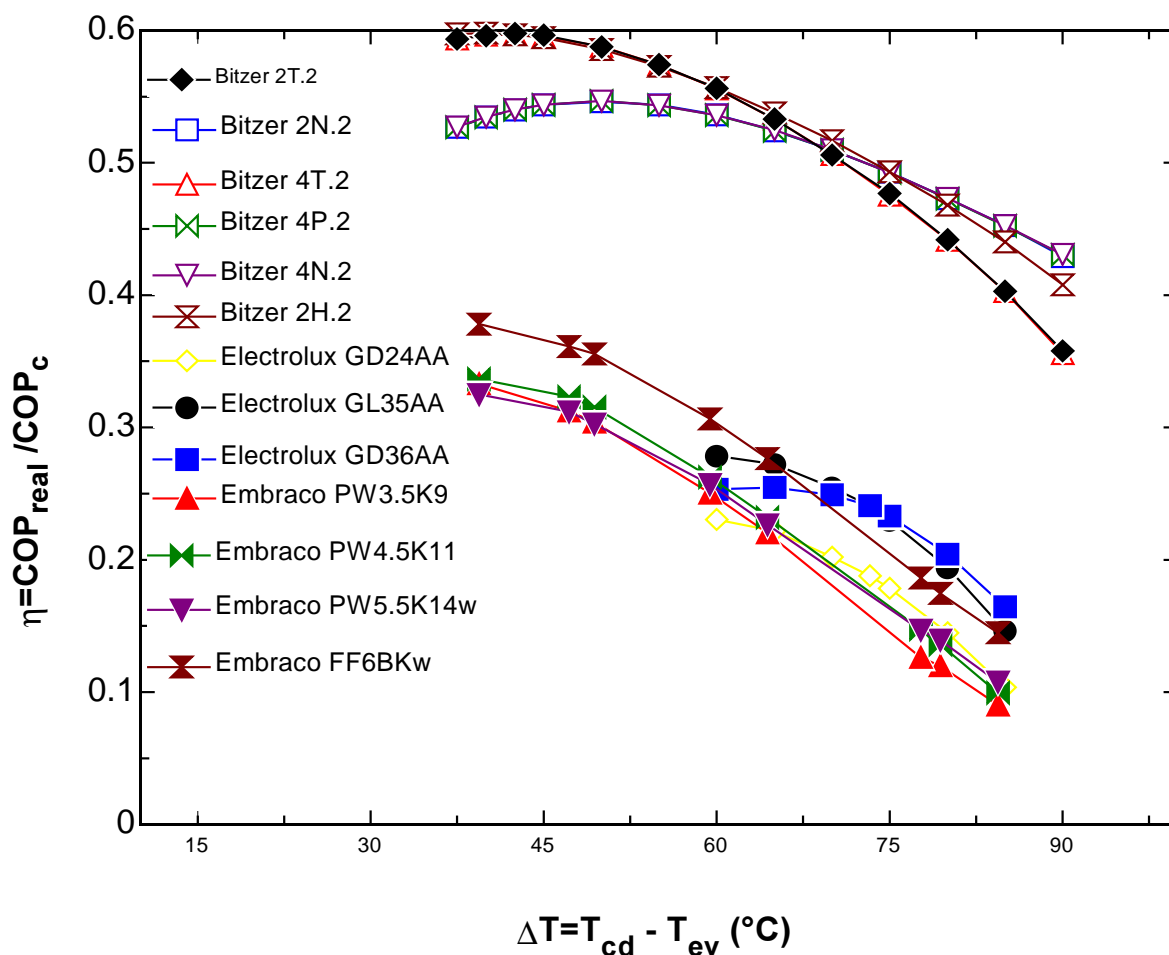


Figura 03: Gráfico da eficiência de Carnot em função de ΔT

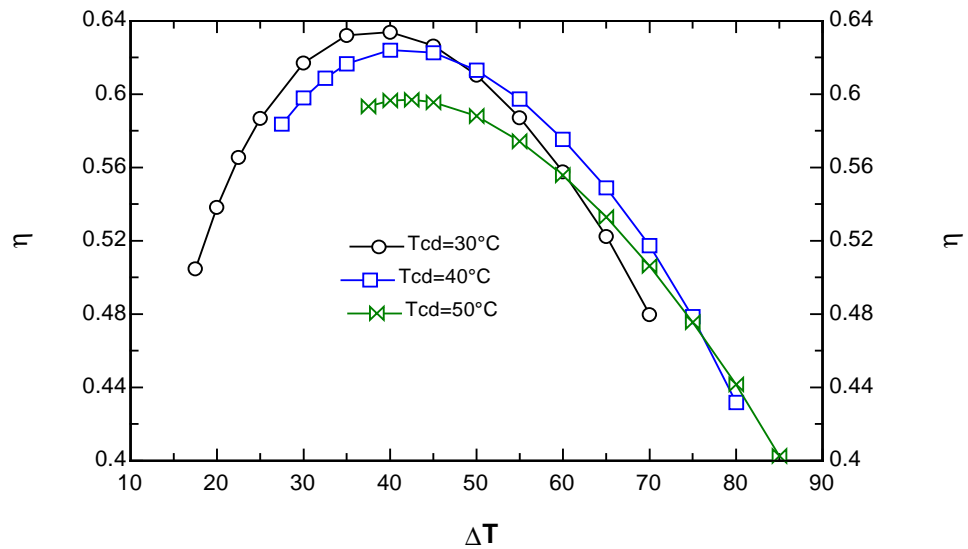


Figura 04: Gráfico da eficiência de Carnot em função de ($\Delta T = T_{cd} - T_{ev}$) para diferentes temperaturas de condensação

A razão da potência frigorífica pela potência frigorífica máxima em função da temperatura de evaporação é mostrada na Fig. (05). Verifica-se um comportamento crescente das curvas. Estas têm uma tendência a sobreporem, exceto para dois modelos de compressores da marca ELECTROLUX. A partir deste comportamento foi possível obter equações que relacionam a capacidade frigorífica em função da temperatura de evaporação e temperatura de condensação. O cálculo dessas equações foi realizado utilizando-se a forma exponencial e a forma polinomial, sendo que a aquela permitiu melhor ajuste, levando em consideração as diferentes marcas de compressores.

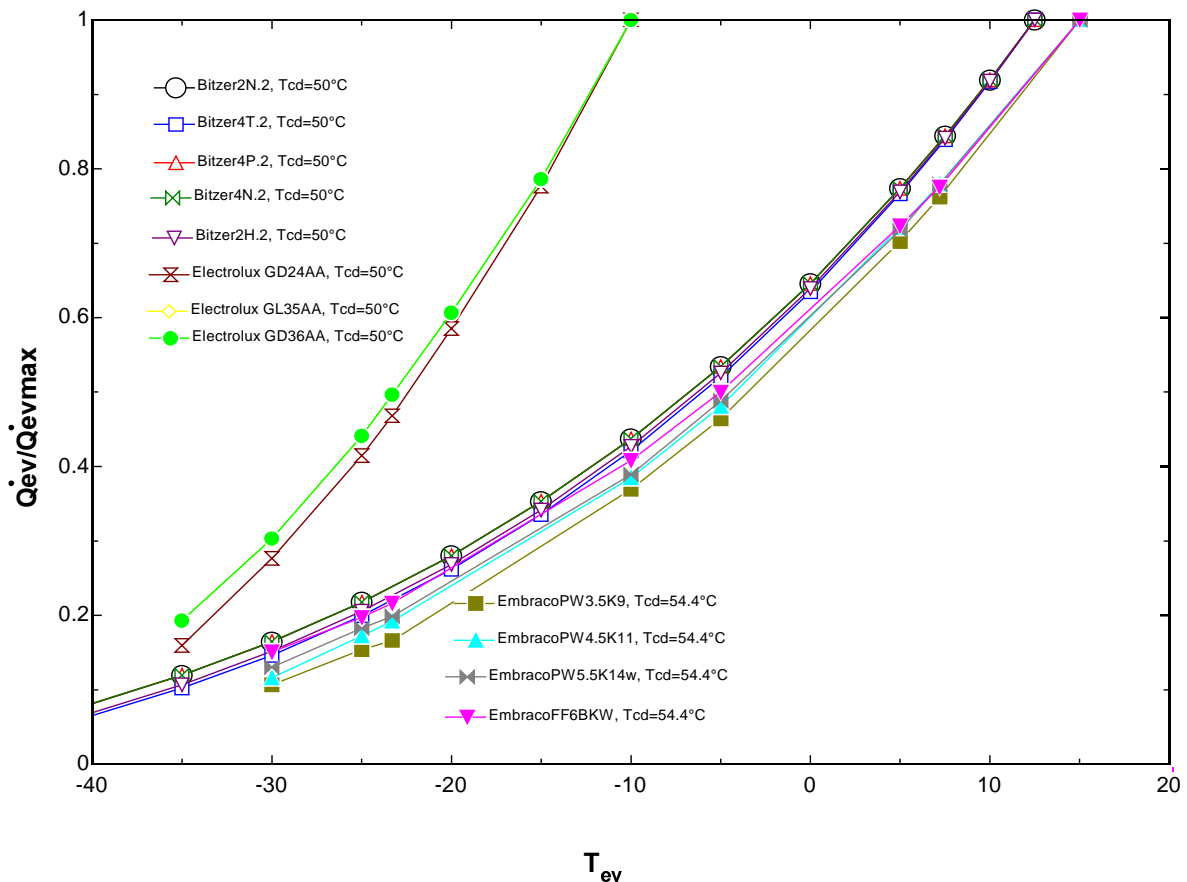


Figura 05: Gráfico da razão da potência frigorífica sobre potência nominal em função da temperatura de evaporação para diferentes marcas e modelos de compressores

Verifica-se na Fig (04) que as curvas da razão da potência frigorífica pela potência frigorífica máxima em função da temperatura de evaporação, para diferentes temperaturas de condensação praticamente se sobrepõem, ou seja, nesta faixa há uma certa independência em relação à temperatura de condensação. Isto é verificado para um compressor em específico. Este comportamento é verificado nas Fig (06) para compressores da marca Bitzer e na Fig. (07) para compressores da marca Electrolux, o que justifica o uso de uma temperatura de condensação, para apresentação dos dados de performance destes sistemas, como observado anteriormente, em ($T_{cd} \approx 50^{\circ}\text{C}$).

Tabela 01: Equação de ajuste dos modelos de compressores representados na Fig.(05).

Compressor	T_{cd} [$^{\circ}\text{C}$]	Equação de $\dot{Q}_{ev} / \dot{Q}_{ev\max}$ em função da temperatura de evaporação
Bitzer2N.2	50	$\dot{Q}_{ev} / \dot{Q}_{ev\max} = 0.653835 + 0.0238383 \cdot T_{ev} + 0.000244167 \cdot T_{ev}^2$
Bitzer4T.2	50	$\dot{Q}_{ev} / \dot{Q}_{ev\max} = 0.643209 + 0.0245019 \cdot T_{ev} + 0.000257638 \cdot T_{ev}^2$
Bitzer4P.2	50	$\dot{Q}_{ev} / \dot{Q}_{ev\max} = 0.653884 + 0.023844 \cdot T_{ev} + 0.00024436 \cdot T_{ev}^2$
Bitzer4N.2	50	$\dot{Q}_{ev} / \dot{Q}_{ev\max} = 0.653884 + 0.023844 \cdot T_{ev} + 0.00024436 \cdot T_{ev}^2$
Bitzer2H.2	50	$\dot{Q}_{ev} / \dot{Q}_{ev\max} = 0.647257 + 0.0242656 \cdot T_{ev} + 0.000251496 \cdot T_{ev}^2$
Electrolux GD24AA	50	$\dot{Q}_{ev} / \dot{Q}_{ev\max} = 1.5228 + 0.057704 \cdot T_{ev} + 0.000536556 \cdot T_{ev}^2$
Electrolux GL35AA	50	$\dot{Q}_{ev} / \dot{Q}_{ev\max} = 1.49057 + 0.0539733 \cdot T_{ev} + 0.000482237 \cdot T_{ev}^2$
Electrolux GD36AA	50	$\dot{Q}_{ev} / \dot{Q}_{ev\max} = 1.49057 + 0.0539733 \cdot T_{ev} + 0.000482237 \cdot T_{ev}^2$
EmbracoPW3.5K9	54.4	$\dot{Q}_{ev} / \dot{Q}_{ev\max} = 0.577512 + 0.0239122 \cdot T_{ev} + 0.000274717 \cdot T_{ev}^2$
EmbracoPW4.5K11	54.4	$\dot{Q}_{ev} / \dot{Q}_{ev\max} = 0.595811 + 0.0233206 \cdot T_{ev} + 0.0002495 \cdot T_{ev}^2$
EmbracoPW5.5K14w	54.4	$\dot{Q}_{ev} / \dot{Q}_{ev\max} = 0.597181 + 0.0230672 \cdot T_{ev} + 0.000253663 \cdot T_{ev}^2$
EmbracoFF6BKW	54.4	$\dot{Q}_{ev} / \dot{Q}_{ev\max} = 0.605825 + 0.0224302 \cdot T_{ev} + 0.000243591 \cdot T_{ev}^2$

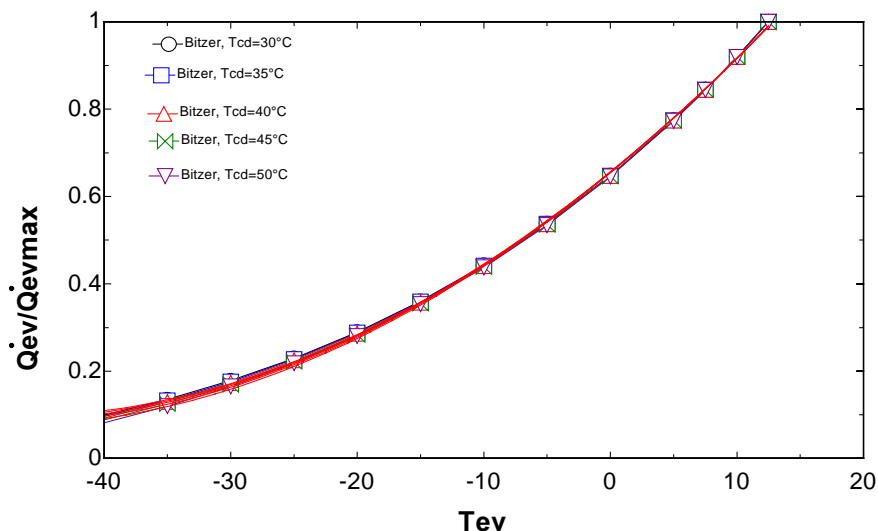


Figura 06: Gráfico da razão da potência do sistema sobre a potência máxima em função da temperatura de evaporação para um mesmo compressor, variando-se a temperatura de condensação. Compressor Bitzer.

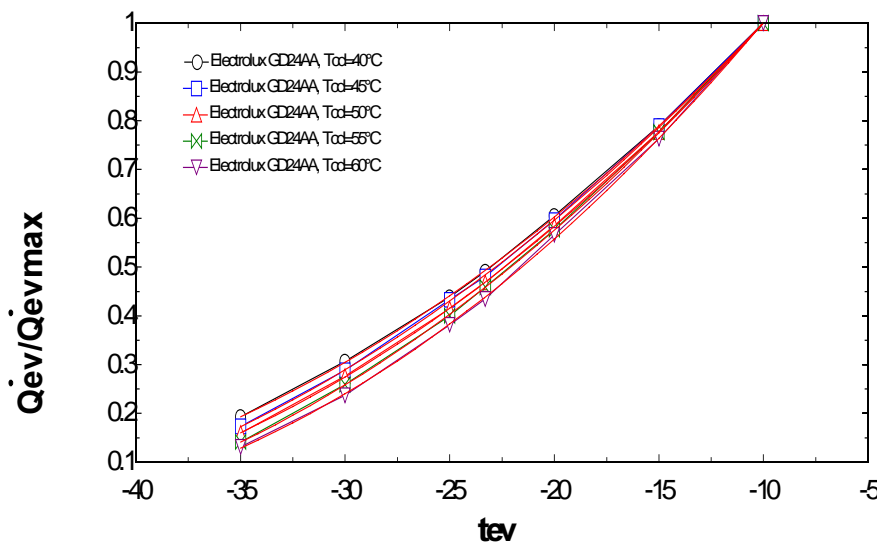


Figura 07: Gráfico da razão da potência do sistema sobre a potência máxima em função da temperatura de evaporação para um mesmo compressor, variando-se a temperatura de condensação. Modelo Electrolux.

5. CONCLUSÕES

A capacidade frigorífica de um sistema de refrigeração é inversamente proporcional à temperatura de evaporação e a potência consumida cresce de forma similar sugerindo uma relação ótima entre capacidade frigorífica e potência consumida.

As Fig (06) e Fig (07) sugerem um parâmetro de otimização em termos da obtenção da máxima capacidade frigorífica e um compromisso entre a diferença ótima $\Delta T = T_{cd} - T_{ev}$ e a temperatura de evaporação adequada para obter máximo COP. Para os modelos de compressores estudados foi possível estabelecer a relação entre a capacidade frigorífica em função das temperaturas de

evaporação e de condensação, por meio de equações da forma exponencial ($Q_{ev}=ke^{-\alpha T_{ev}}e^{\beta T_{cd}}$) ou da forma polinomial ($Q_{ev} = a + bT_{cd} + cT_{cd}^2 + dT_{ev} + eT_{ev}^2$)

Na gestão energética de refrigeradores e freezers domésticos, o estudo do comportamento operacional dos compressores é de fundamental importância. Após a seleção do melhor equipamento, onde se tem uma maior eficiência do sistema (maior capacidade frigorífica) é possível obter informações quanto à influência da modificação do consumo de energia, quando da instalação, em condições reais, de tais equipamentos e assim propor estratégias quanto à modificação dos parâmetros de projeto. As informações obtidas neste trabalho são subsídios indispensáveis para este estudo.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à FAPEMIG, que proporcionou o suporte financeiro a essa pesquisa.

7. REFERÊNCIAS

- Cole, R. A, 1989; "Refrigeration Loads in a Freezer Due to Hot Gas Defrost and Their Associated Costs", ASHRAE Transactions, Vol. 22, No. 3, pp. 1149-1154.
- Duarte, J. A, 2000; "Desenvolvimento de uma Nova Metodologia para Teste de Compressores de Refrigeração: Ciclo : Ciclo Completamente na Região de Vapor Superaquecido"; Dissertação de Mestrado; Universidade Federal de Uberlândia (UFU); Uberlândia, MG; Brasil.
- Edward, A. Vineyard. P. E. at all, 1995; "Evaluation of Design Options For Improving The Energy Efficiency of An Environmentally Safe Domestic Refrigerator-Freezer", ASHRAE Transactions, Vol. 24, No. 2, pp. 1422-1430.
- Edward, A. Vineyard, P. E. at all, 1997; "Experimental And Cost Analyses Of a One Kilowatt - Hour/Day Domestic Refrigerator-Freezer", ASHRAE Transactions, Vol. 7, No. 2, pp. 621-629
- Evelyn, B. at all, 1998; "Evaluation of Performance and Composition Shift of Zeotropic Mixtures in a Lorenz-Meutzner Refrigerator/Freezer", ASHRAE Transactions, pp. 41-51.
- Evelyn B. 1998; "Synopsis of Residential Refrigerator/Freezer Alternative Refrigerants Evaluation"; ASHRAE Transactions, pp. 266-273.
- Oliveira, J. E., Tumialán, J. A. e Hernandez, O. 2001; "Modelagem Transiente de Compressores Frigoríficos", 22nd. Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering, Campinas, Brasil.
- Paiva, M.A. at all.; 1992 "Otimização Energética de Refrigeradores e Freezers Domésticos," III CONBRAVA.
- Peitman. H. C., Nicolas. H. J., 1988; "Liquid Chilling System, Institute of Applied Physics", April.
- Pimenta, J.M.D, 1992," Estudo Experimental de Refrigeradores e Bombas de Calor para Determinação de Parâmetros de Performance", Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia.
- Pimenta, J. M. D. 1997; "On The Suitability of Simple Methods for Fault Detection and Diagnosis". Laboratory Tests and On-site Studies of Refrigeration Systems, PhD thesis, University of Liège, Laboratory of Thermodynamics , Belgium.
- Stewart, W. E. 1987; "Field and Laboratory Test Plan for Improving Refrigerator/Freezer Energy Testing Procedures", ASHRAE Trans, 1987, vol.93, Part2. pp1559-1569, USA
- Volpi, R. 1995; "The Development of Frozen Foods"; ASHRAE Journal; June, pg 69 – 71.
- William, H. C. at all 1997; "An Experimental Analysis of Cycling Losses in Domestic Refrigerator Freezers", ASHRAE Transactions, Vol. 6, No. 1, pp. 587-596.

8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material incluído neste trabalho.

MANAGEMENT OF ENERGY DOMESTIC REFRIGERATORS AND FREEZERS

Melo.C. M. T;

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica(FEMEC)

Laboratório de Sistema Térmicos(LEST)

Endereço: Av. João Naves de Ávila 2160, Campus Santa Mônica, Bloco M. Uberlândia M.G., CEP: 38400-902

Email: cmtmelo@mecanica.ufu.br

Mendoza. O. S. H;

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica(FEMEC)

Laboratório de Sistema Térmicos(LEST)

Endereço: Av. João Naves de Ávila 2160, Campus Santa Mônica, Bloco M. Uberlândia M.G., CEP: 38400-902

Email: oscarhm@mecanica.ufu.br

Oliveira. J. E. S;

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica(FEMEC)

Laboratório de Sistema Térmicos(LEST)

Endereço: Av. João Naves de Ávila 2160, Campus Santa Mônica, Bloco M. Uberlândia M.G., CEP: 38400-902

Email: jesolivei@mecanica.ufu.br

Tumialan. J. A;

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica(FEMEC)

Laboratório de Sistema Térmicos(LEST)

Endereço: Av. João Naves de Ávila 2160, Campus Santa Mônica, Bloco M. Uberlândia M.G., CEP: 38400-902

Email: jtumialan@mecanica.ufu.br

Resende. J. V.

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica(FEMEC)

Laboratório de Sistema Térmicos(LEST)

Endereço: Av. João Naves de Ávila 2160, Campus Santa Mônica, Bloco M. Uberlândia M.G., CEP: 38400-902

Email: jvresende@mecanica.ufu.br

***Abstract.** Energy management of domestic refrigerators always was the objective of manufacturers, seeking to increase the efficiency of the refrigeration's equipment. This work analyzes the results obtained until today and it shows that still are possible to accomplish improvements if the equipments are operated properly. Based on bibliographical research, that it proposes new terms of energy management of domestic refrigerators, we intended with this work to mark wanted operation limits of they be implemented for, starting from these points, to propose improvement measures in the components of the current systems, seeking the increase of the efficiency analyzing of life cycle cost and payback periods.*

Key- Words: refrigeration, energy, compressor, refrigerators, freezers