



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

UM MÉTODO ALTERNATIVO PARA DETERMINAR O CONSUMO DE ENERGIA DE REFRIGERADORES DOMÉSTICOS

Frederico E. Resende, frederico@polo.ufsc.br¹
Christian J. L. Hermes, chermes@ufpr.br²
Cláudio Melo, melo@polo.ufsc.br¹

¹ POLO Laboratórios de Pesquisa em Refrigeração e Termofísica, Universidade Federal de Santa Catarina
88040-900, Florianópolis, SC, Brasil

² Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná
Caixa Postal 19011, 81531-990, Curitiba, PR, Brasil

Resumo: *O presente trabalho apresenta um método experimental alternativo para determinar o consumo de energia de refrigeradores domésticos. Ao contrário dos métodos normalizados, segundo os quais o produto é testado em condições cíclicas de operação, o método alternativo propõe que o refrigerador seja testado na condição de regime permanente, de modo que o tempo de ensaio é consideravelmente menor. Para tanto, o excesso de capacidade de refrigeração do sistema é compensado por uma carga térmica adicional introduzida no interior dos compartimentos refrigerados através de resistências elétricas controladas por dispositivos PID a fim de manter as temperaturas dos em condições pré-estabelecidas. Uma comparação entre os resultados obtidos através do método proposto e de testes normalizados (ISO) mostrou uma diferença no consumo de energia da ordem de 5%, valor da mesma magnitude dos erros experimentais observados nos procedimentos normalizados.*

Palavras-chave: *consumo de energia, refrigeradores domésticos, método de teste, normalização*

1. INTRODUÇÃO

Países de todo o mundo, principalmente os mais desenvolvidos, têm adotado políticas para incentivar o uso racional de energia. Como os refrigeradores são grandes responsáveis pelo consumo residencial de energia elétrica – no Brasil, esse valor ultrapassa 10% de toda a matriz energética nacional –, é comum que os governos adotem políticas para incentivar os consumidores a comprarem produtos mais eficientes. Neste contexto, os programas de etiquetagem de eficiência energética e as normas para aprovação dos equipamentos de refrigeração têm desempenhado um papel fundamental nas estratégias dos governos de racionalizar os recursos energéticos e ambientais (Bansal e Kruger, 1995). Neste contexto, testes de consumo de energia têm sido largamente empregados na indústria de refrigeração durante a fase de desenvolvimentos de novos produtos.

Existem vários procedimentos normalizados para determinar o consumo de energia de refrigeradores domésticos (Bansal, 2003; Hermes et al., 2004), dentre os quais se destaca a norma ISO15502 (2007), adotada pelos fabricantes brasileiros de refrigeradores. Os testes realizados de acordo com essa norma, além de exigirem um período de tempo demasiadamente longo (cerca de uma semana), não permitem a determinação de alguns parâmetros necessários ao projeto do produto, tais como a carga térmica, a capacidade de refrigeração e o coeficiente de performance (COP) do refrigerador.

Além disso, os ensaios normalizados são realizados em regime transiente periódico, ou seja, o compressor liga e desliga durante o ensaio para compensar o excesso de capacidade de refrigeração em comparação com a carga térmica de resfriamento (de um modo geral, a capacidade de refrigeração é cerca de duas vezes maior que a carga térmica, de modo que o refrigerador permanece ligado durante apenas metade do ciclo). Este tipo de regime de operação dificulta ainda mais a análise dos resultados.

Diante de tais dificuldades, o presente trabalho pretende propor um método alternativo para a determinação do consumo de energia de refrigeradores domésticos que: (i) forneça resultados confiáveis, (ii) facilite a interpretação dos resultados, e (iii) demande um tempo consideravelmente menor para a sua realização.

2. PRINCIPAIS NORMAS PARA DETERMINAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA

As principais normas mundiais criadas para padronizar o procedimento e as condições de ensaio adotadas durante o teste para determinar o consumo de energia de refrigeradores domésticos são: AHAM HRF-1 (2004), AS/NZS 4474.1 (1997), ISO 15502 (2005) e JIS C 9607 (1996).

A norma AHAM HRF-1 (2004), adotada nos EUA, exige que o refrigerador seja testado em regime cíclico. Segundo esta norma, a condição ambiente deve ser mantida em 32,2 °C e 75±5% de umidade relativa. A temperatura do compartimento refrigerador deve ser mantida em 7,2°C e a temperatura do congelador em -9,4°C ou -15°C, dependendo da classificação do produto. O período de teste deve ser de pelo menos 3 horas, não podendo ultrapassar 24 horas. É recomendado que, durante este período, o compressor complete dois ou mais ciclos. A norma norte-americana não exige a abertura de portas.

A norma AS/NZS 4474.1 (1997), aplicada na Austrália, sugere que o sistema seja testado em regime cíclico, ou seja, com o compressor operando de maneira intermitente. De acordo com tal norma, o consumo de energia deve ser registrado até que consuma 1 kWh ou que o tempo de teste atinja 16 horas. Os refrigeradores devem ser testados a uma temperatura ambiente de 32 °C e 75±5% de umidade relativa. O compartimento refrigerador deve ser mantido em 3°C e o congelador em -9°C ou -15°C, dependendo da classificação do produto. O período de teste deve compreender pelo menos um ciclo completo (período entre duas partidas do compressor). Esta norma não exige que os testes sejam realizados com abertura de portas.

A norma ISO 15502 (2005), utilizada nos países europeus e no Brasil, estabelece que o sistema deve ser testado em regime cíclico. A temperatura de teste depende do clima para o qual o sistema foi projetado. Para regiões de clima temperado ou subtropical, a temperatura ambiente é 25,0±0,5 °C. Nas regiões de clima tropical, a temperatura ambiente é 32,0±0,5 °C. De acordo com tal norma, a potência consumida pelo produto deve ser monitorada ao longo de um período de 24 horas e deve compreender um número inteiro de ciclos. O congelador deve ser carregado com uma carga pré-estabelecida de pacotes de *tylose*, uma substância artificial cujo calor específico equivale ao da carne congelada. Dois testes devem ser realizados, um acima e outro abaixo da temperatura de referência. O consumo de energia declarado será o valor correspondente ao obtido através de interpolação. A norma ISO usa como referência a temperatura do pacote de *tylose* mais quente no congelador, que assume os seguintes valores dependendo da classificação do produto: -6°C (*), -12°C (***) e -18°C (****). Durante os dois testes, a temperatura do compartimento refrigerador deve ser mantida em 5°C.

A JIS C 9607 (1996), empregada no Japão, estabelece que dois testes sejam realizados, um a 15°C e outro a 30°C de temperatura ambiente, ambos com umidade relativa de 75±5%. Essa norma utiliza três classes, sendo que, dependendo da classe, a temperatura do compartimento congelador deve ser mantida em -6°C, -12°C ou -18°C. A temperatura do compartimento refrigerador deve ser mantida em 3°C, independentemente da classificação do produto. O período de medição é de 24 horas. Diferentemente das demais normas, a JIS exige a abertura e o fechamento das portas durante as primeiras horas de teste. A frequência de aberturas depende do tipo do produto, e a porta tem que permanecer totalmente aberta por pelo menos 5 segundos.

Um resumo com as condições de teste de cada uma das normas acima mencionadas é mostrado na Tab. (1).

Tabela 1. Condições normalizadas para testes de consumo de energia.

	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura do resfriador (°C)	Temperatura do congelador (°C)
AHAM HRF-1	32,2	7,2	-9,4 ou -15,0
AS/NZS 4474.1	32,0	3,0	-9,0 ou -15,0
ISO 15502	25,0 ou 32,0	5,0	-6,0, -12,0 ou -18,0
JIS C 9607	15,0 e 30,0	3,0	-6,0, -12,0 ou -18,0

3. MÉTODO PROPOSTO

A principal diferença entre o método proposto para determinação do consumo de energia e os ensaios normalizados consiste, essencialmente, na estratégia adotada para controlar as temperaturas dos compartimentos congelador e refrigerador. Nos ensaios normalizados, as temperaturas são controladas através dos dispositivos de controle do refrigerador, i.e., do termostato (elemento que liga e desliga o compressor de acordo com a temperatura de um dos compartimentos refrigerados, geralmente o congelador) e do *dampner* (dispositivo, geralmente termo-mecânico, que varia a vazão de ar no outro compartimento, geralmente o refrigerador, de acordo com a temperatura desejada). Tal estratégia de controle impõe um comportamento transiente periódico ao refrigerador, que passa a operar em ciclos.

Uma forma de contornar tais dificuldades consiste em testar o refrigerador na condição de regime permanente, onde todas as variáveis de interesse (pressões, temperaturas, potências) estão estabilizadas. Para tanto, as temperaturas dos compartimentos refrigerados são mantidas através de controladores PID (Proporcional-Integral-Derivativo) que atuam sobre resistências elétricas estrategicamente posicionadas no interior dos compartimentos, como ilustra a Fig. (1). Desta forma, o excesso de capacidade do sistema de refrigeração é compensado pela dissipação de calor no interior do refrigerador. O termostato deve ser mantido inativo enquanto o *dampner* deve ser fixado em uma posição pré-determinada. O controle deve ser feito de modo independente para cada compartimento.

Para determinar o consumo de energia do sistema através da análise em regime permanente, deve-se primeiramente calcular a carga térmica do produto, através das temperaturas dos compartimentos refrigerados, da temperatura ambiente (T_a) e da condutância térmica de cada compartimento (UA). Tais valores podem ser obtidos através de ensaios de determinação de UA , também chamados de testes de fluxo de calor reverso, descrito em detalhes na próxima seção.

Após a realização do teste de fluxo de calor reverso, o sistema deve ser ligado, mas com os controles (termostato e *dampner*) inativos, para que as temperaturas internas possam ser ajustadas através das resistências elétricas e dos

controladores PID. Na condição de regime permanente, a carga térmica do produto, Q_t , é calculada através da seguinte equação:

$$Q_t = UA_c(T_a - T_c) + UA_r(T_a - T_r) + W_{v,e} \quad (1)$$

onde $W_{v,e}$ corresponde à potência do ventilador do evaporador, em [W], e os índices 'c' e 'r' referem-se ao compartimento congelador e refrigerador, respectivamente.

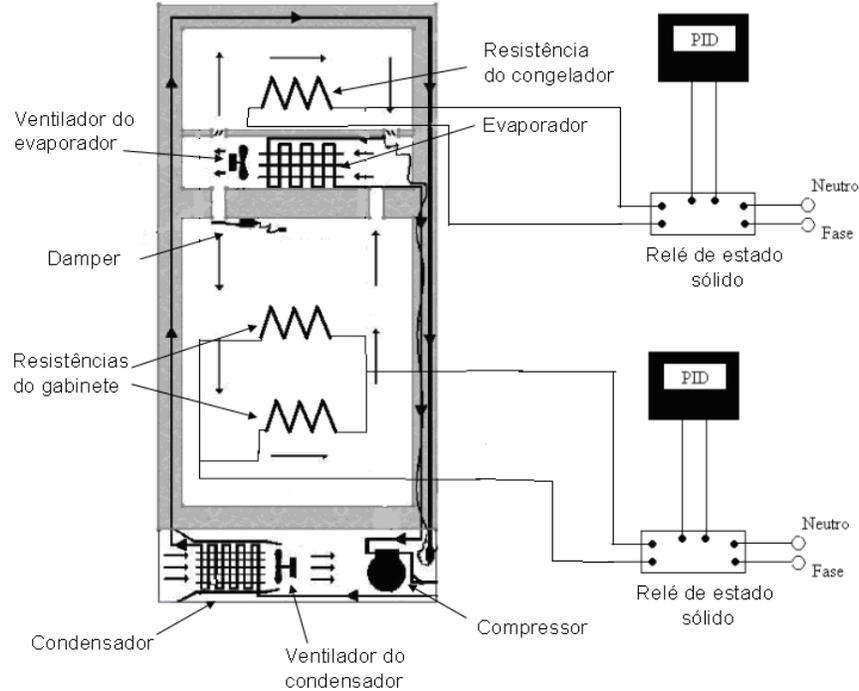


Figura 1. Representação esquemática do refrigerador e do sistema de controle de temperaturas.

A capacidade de refrigeração do sistema, Q_e , é calculada levando-se em conta não só a carga térmica do produto, mas também a potência elétrica dissipada pelas resistências:

$$Q_e = Q_t + W_c + W_r \quad (2)$$

Quando o refrigerador está operando na condição cíclica, toda a energia infiltrada no gabinete ao longo de um ciclo deve ser retirada pelo sistema de refrigeração durante o período em que este permanece ligado. Desta forma, a fração de funcionamento do produto, definida como a razão entre o tempo de compressor ligado e o tempo total de um ciclo (tempo ligado mais tempo desligado), pode ser aproximada através do seguinte balanço de energia ao longo de um ciclo:

$$Q_e \cdot t_{lig} \cong [UA_c(T_a - T_c) + UA_r(T_a - T_r)](t_{lig} + t_{des}) + W_{v,e} \cdot t_{lig} \Rightarrow \tau \cong \frac{t_{lig}}{t_{lig} + t_{des}} \cong \frac{Q_t - W_{v,e}}{Q_e - W_{v,e}} \quad (3)$$

Tal relação permite que a fração de funcionamento do compressor seja determinada, de modo que o consumo de energia pode então ser calculado da seguinte forma:

$$CE = \tau(W_c + W_{v,e} + W_{v,c}) \quad (4)$$

O coeficiente de performance do sistema, COP , é então calculado através da razão entre a capacidade de refrigeração e a potência consumida pelo sistema:

$$COP = \frac{Q_e}{W_c + W_{v,e} + W_{v,c}} \quad (5)$$

4. TRABALHO EXPERIMENTAL

4.1. Câmara de teste

Os ensaios foram realizados em uma câmara de teste, capaz de controlar a temperatura ambiente na faixa de 15 a 60°C, com uma incerteza de $\pm 0,2^\circ\text{C}$. A umidade relativa do ambiente de teste também é controlada em uma faixa de 30 a 95%, com uma incerteza inferior a $\pm 5\%$. Para controlar as condições de temperatura e umidade, a câmara possui um sistema de refrigeração (compressor, condensador, dispositivo de expansão e um evaporador), um sistema de circulação de ar (ventiladores e *damper*), um sistema de aquecimento constituído por um banco de resistências elétricas e um umidificador (resistência elétrica submersa em um reservatório com água). O sistema de controle de temperatura é relativamente simples. As temperaturas de controles do ar no interior da câmara são lidas por quatro termopares localizados na parte superior da câmara, próximos ao forro falso, enquanto a umidade relativa é medida através de um sensor posicionado no centro geométrico do forro. Um esquema da câmara pode ser observado na Fig. (2).

A temperatura do ar é controlada por um controlador do tipo PID, capaz de variar continuamente a corrente enviada às resistências elétricas, de acordo com o sinal lido por um conjunto de termopares, e por um sistema de resfriamento que opera continuamente. A umidade relativa também é controlada por um controlador do tipo PID que recebe o sinal enviado por uma sonda capacitiva e atua sobre as resistências do sistema de umidificação. De acordo com recomendações da norma ISO15502 (2005), a velocidade do ar dentro da câmara não deve exceder de 0,25 m/s.

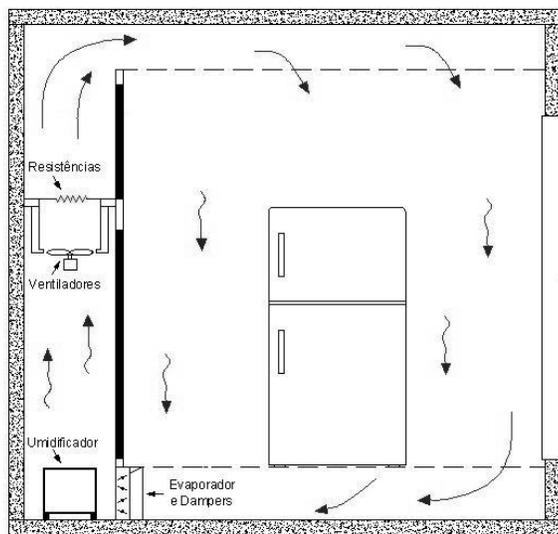


Figura 2. Representação esquemática da câmara de testes.

4.2. Instrumentação do refrigerador

Para avaliar a metodologia proposta, foi utilizado um refrigerador doméstico, projetado para o mercado europeu, que opera com refrigerante HC-600a e possui convecção forçada tanto no evaporador tubo-aletado como no condensador arame-sobre-tubo. As temperaturas em diversas posições do sistema foram lidas através de termopares do tipo T, com incerteza de medição na faixa de $\pm 0,2^\circ\text{C}$. As pressões de sucção e descarga do compressor foram medidas por dois transdutores de pressão absoluta, do tipo *straingage*, respectivamente com faixas de operações são 0-10 bar e 0-50 bar. Os transdutores utilizados para a medição de tensão, corrente e potência possuem incertezas na faixa de $\pm 0,1\%$. Utilizou-se um sistema de aquisição de sinais, modelo HP Agilent 7500. Os sinais foram processados através de um *software* desenvolvido na plataforma HPVVEE.

Nos testes de fluxo de calor reverso e de consumo de energia em regime permanente faz-se necessário o uso de PIDs para controlar a temperatura nos compartimentos refrigerados. Neste trabalho, optou-se pela utilização de um controle analógico, onde um relé de estado sólido de controle de tensão por ângulo de fase atua sobre as resistências elétricas a partir do sinal enviado pelo controlador PID (ver Fig. 1).

4.3. Determinação das condutâncias térmicas dos compartimentos (UA)

As condutâncias térmicas dos compartimentos refrigerados foram obtidas através de ensaios de fluxo de calor reverso. Os testes foram realizados com o refrigerador posicionado dentro de uma câmara com uma temperatura ambiente pré-definida. Com o auxílio dos controladores PID, os compartimentos foram aquecidos até níveis de temperatura superiores a do ambiente externo (daí o nome “fluxo de calor reverso”). Durante a determinação das condutâncias térmicas, o sistema de refrigeração foi mantido desligado. No presente trabalho, foram realizados três

testes para a determinação das condutâncias térmicas, cada qual com diferentes temperaturas dos compartimentos refrigerados, como mostra a Tab. (2).

Tabela 2. Dados experimentais do teste de determinação da condutância térmica

Teste	#1	#2	#3
Temp. do refrigerador, °C	44,7	37,3	36,4
Temp. do congelador, °C	45,0	44,0	39,2
Temp. ambiente, °C	20,0	20,0	19,9
Resistência do refrigerador, W	29,7	10,3	15,0
Resistência do congelador, W	15,2	24,1	15,1
Potência do ventilador, W	2,0	2,0	2,0

Os valores das condutâncias térmicas do congelador e do refrigerador foram obtidos ajustando-se a equação do balanço de energia envolvendo todo o gabinete refrigerado, escrita abaixo, aos dados experimentais da Tab. (2). Os resultados obtidos para a condutância térmica do refrigerador e do congelador foram 0,53W/K e 1,35W/K, respectivamente.

$$UA_c(T_a - T_c) + UA_r(T_a - T_r) - (W_e + W_c + W_{v,e}) = 0 \quad (6)$$

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Validação do método proposto

Para avaliar o método proposto, o refrigerador foi cuidadosamente instrumentado com termopares e com transdutores de pressão e de potência e, em seguida, testado em câmara com temperatura e umidade do ar contraladas. Os testes foram realizados tanto de acordo com a norma ISO15502 (2007) como com o procedimento alternativo proposto no presente trabalho.

Os ensaios foram realizados com duas configurações distintas, a original e outra configuração na qual o condensador do sistema foi substituído por um outro condensador com condutância maior que a do componente original. Uma vez que o produto foi projetado para o mercado europeu, os testes foram conduzidos a uma temperatura ambiente de 25°C, e os compartimentos foram mantidos a uma temperatura de -18°C (congelador) e 5°C (resfrigerador). Para os testes normalizados, o congelador foi carregado com pacotes de *tylose*, embora não se tenha empregado carregamento para os testes em regime permanente. Os resultados são mostrados na Tab. (3) e Tab. (4).

Tabela 3. Comparação entre os resultados obtidos nos testes experimentais com o sistema original

	Método ISO	Método proposto	Diferença
Carga térmica, W	-	51,9	-
Capacidade de refrigeração, W	-	126,8	-
Coefficiente de performance, adimensional	-	1,01	-
Fração de funcionamento, %	39,8	42,3	6,3
Consumo de energia, kWh/mês	37,5	38,4	2,4

Tabela 4. Comparação entre os resultados obtidos nos testes experimentais com o sistema modificado

	Método ISO	Método proposto	Diferença
Carga térmica, W	-	51,7	-
Capacidade de refrigeração, W	-	129,9	-
Coefficiente de performance, adimensional	-	1,03	-
Fração de funcionamento, %	40,9	41,1	2,5
Consumo de energia, kWh/mês	34,7	37,0	6,6

Verifica-se, nas Tab. (3) e Tab.(4), que o método proposto fornece valores bem próximos aos resultados dos testes ISO. As diferenças obtidas para a fração de funcionamento e para o consumo de energia da ordem de 5%, valor da mesma ordem de grandeza da incerteza de medição normalmente observada nos testes normalizados. Observa-se que o tempo gasto para a realização do teste de consumo de energia adotando-se o método proposto foi de aproximadamente 7,5 horas, enquanto 48 horas foram necessárias (i.e, aproximadamente 6 vezes mais demorado que o método proposto). Salienta-se também que o teste em regime permanente permite o cômputo da capacidade de refrigeração, da carga térmica e do *COP* do sistema, parâmetros raramente quantificados durante os testes normalizados. Por fim, observa-se que ambos os métodos mostram que o consumo de energia foi reduzido quando um condensador com maior condutância foi empregado.

5.2. Verificação do cômputo da capacidade de refrigeração

A fim de verificar se a capacidade de refrigeração do sistema foi estimada corretamente, fez-se uso de um método auxiliar baseado em um balanço de energia no refrigerante que escoou através do evaporador,

$$Q_e = m(h_5 - h_4) \quad (7)$$

onde m é o valor da vazão mássica de refrigerante, e h_5 e h_4 são os valores de entalpia respectivamente na saída e na entrada do evaporador, conforme ilustra a Fig. (3).

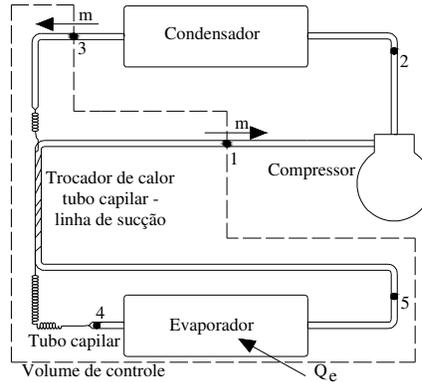


Figura 3. Volume de controle usado no cômputo da capacidade de refrigeração

Como não é possível determinar a entalpia do refrigerante na entrada do evaporador como função da pressão e da temperatura, já que neste ponto o refrigerante se encontra em um estado bifásico, um balanço de energia adicional envolvendo o evaporador e o trocador de calor interno deve ser empregado (ver Fig. 3):

$$h_5 - h_4 = h_1 - h_3 \quad (8)$$

Deste modo, a capacidade de refrigeração é calculada com base nos pontos (1) e (3), em que os estados de vapor superaquecido e líquido sub-resfriado são respectivamente observados. A vazão mássica de refrigerante, por sua vez, é determinada a partir da eficiência volumétrica do compressor (η_v), de acordo com a Eq. (9).

$$m = \eta_v V N / v_1 \quad (9)$$

onde N é a rotação do compressor [Hz], V é o deslocamento volumétrico [m^3] e v_1 é o volume específico do refrigerante na sucção do compressor. A eficiência volumétrica do compressor foi obtida a partir de uma curva foi ajustada com base nos dados de catálogo do compressor,

$$\eta_v = a + b(P_{desc} / P_{suc}) \quad (10)$$

onde P_{desc} e P_{suc} são, respectivamente, as pressões de descarga e de sucção, e 'a' e 'b' são os coeficientes empíricos ajustados.

A capacidade de refrigeração encontrada através deste procedimento foi de 112,6W para o sistema original e 107,7W para o sistema com o condensador modificado. Ao comparar os resultados da capacidade de refrigeração obtidos pelo balanço de energia no evaporador com aqueles que se encontram nas Tabs. (3) e (4), observa-se uma diferença de -11,2% para o produto original e -17,1% para o produto com o condensador modificado. Tal diferença pode ser explicada pelo fato de que a temperatura do compressor, mais alta, interfere na leitura da temperatura de sucção do refrigerante. Deste modo, o volume específico do refrigerante neste ponto é calculado utilizando uma temperatura maior do que a real, resultando em um volume específico também maior do que o valor real, de modo que a capacidade de refrigeração calculada é menor que a real.

Em adição, a curva da eficiência volumétrica do compressor foi ajustada apenas para a temperatura de condensação de 54,4 °C, enquanto a temperatura de condensação do sistema ficou em torno de 40°C nos testes realizados, uma vez que não havia disponibilidade de dados experimentais para outras temperaturas. Tais diferenças podem ocasionar erros que explicam as diferenças de capacidade obtidas.

Desta forma, testes adicionais serão realizados com um medidor de vazão e com termopares de imersão instalados no sistema de refrigeração para verificar se os métodos empregados para o cômputo da capacidade de refrigeração fornecem resultados consistentes entre si.

6. COMENTÁRIOS FINAIS

Um novo método para a avaliação do consumo de energia de refrigeradores domésticos foi proposto neste trabalho. Tal abordagem tem a vantagem de demandar um menor período de tempo para ser realizado quando comparado aos procedimentos normalizados, além de permitir o cômputo de importantes parâmetros de projeto do produto, tais como a carga térmica, a capacidade de refrigeração e o *COP* do sistema. Os resultados do método proposto foram comparados com resultados obtidos de testes cíclicos com o produto carregado (com pacotes de *tylose*), apresentando diferenças em torno de 5%, valores da mesma ordem de grandeza das incertezas de medição observadas nos procedimentos que envolvem testes cíclicos. Testes adicionais devem, no entanto, ser realizados com outros produtos a fim de verificar a aplicabilidade do método proposto a tais sistemas, o que será abordado em uma publicação futura.

Enfatiza-se que a metodologia proposta não tem a intenção de substituir os testes normalizados necessários à aprovação do produto junto à mercados específicos, mas apenas a de diminuir o número de testes normalizados realizados ao longo do processo de desenvolvimento do produto, uma vez que são onerosos e demandam tempo. Propõe-se, portanto, que o produto seja desenvolvido, nos estágios iniciais, utilizando-se o método proposto e que os procedimentos normalizados sejam empregados apenas nas fases finais do projeto, em que testes específicos de aprovação do produto são obrigatórios.

7. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido no POLO Laboratórios de Pesquisa em Refrigeração e Termofísica da Universidade Federal de Santa Catarina com recursos do CNPq (Processo no. 573581/2008-8 – Instituto Nacional em Ciência e Tecnologia em Refrigeração e Termofísica). Os autores agradecem aos técnicos Luciano Van Bömmel e Deivid dos Santos de Oliveira, que instrumentaram o produto e conduziram os experimentos.

8. REFERÊNCIAS

- AHAM HRF-1, 2004, Energy performance and capacity of household refrigerators, refrigerator-freezers and freezers, American National Standards Institute, Washington-DC, USA
- AS/NZS 4474.1, 1997, Performance of household electrical appliances—refrigerating appliances. Part 1: energy consumption and performance. Part 2: energy labeling and minimum energy performance standard requirements, Standards Association of New Zealand, Wellington, New Zealand.
- Bansal, P.K., 2003, “Developing new test procedures for domestic refrigerators: harmonization issues and future R&D needs – a review”, *International Journal of Refrigeration*, 26, 735-748.
- Bansal, P.K., Kruger, R., 1995, “Test standards for household refrigerators and freezers I: preliminary comparisons”, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 18, No 1, pp.4-20.
- Hermes, C.J.L., Melo, C., Lacerda, V.T., 2004, “A new methodology for analyzing the dynamic behavior of ‘no-frost’ refrigerators based on standardized test procedures”, 3rd National Congress of Mechanical Engineering, August 10-13, Belem, PA, BRAZIL.
- ISO 15502, 2005, Household refrigerating appliances - Characteristics and test methods, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland
- JIS C 9607, 1986, Japanese Industrial Standard, Household electric refrigerators, refrigerators-freezers and freezers, Japanese Standards Association, Japan.

AN ALTERNATIVE TEST METHOD TO ASSESS THE ENERGY CONSUPTION OF HOUSEHOLD REFRIGERATORS

Frederico E. Resende, frederico@polo.ufsc.br¹

Christian J. L. Hermes, chermes@ufpr.br²

Cláudio Melo, melo@polo.ufsc.br¹

¹ POLO Research Laboratories in Cooling and Thermophysics, Federal University of Santa Catarina
88040-900, Florianópolis, SC, Brazil

² Department of Mechanical Engineering, Federal University of Paraná
P.O. Box 19011, 81531-990, Curitiba, PR, Brazil

Abstract: *This paper advances an alternative test method to assess the energy consumption of household refrigerators. Whereas the standardized methods require that the refrigerator is kept running according to an on-off cycling pattern, the proposed method evaluates the refrigerator performance at steady-state regime, being therefore much faster and reliable. In order to do so, the exceeding cooling capacity (in comparison to the cooling loads) is overridden by PID-controlled electrical heaters installed within the refrigerated compartments, so that the indoor temperatures are kept at the desired standardized levels. Comparisons between experimental results obtained using the proposed methods and the ISO approach showed an agreement within a 5% band, a figure of the same order of magnitude of the experimental errors usually found in the standardized procedures.*

Keywords: *energy consumption, household refrigerators, test method, standardizes tests*