

Influência do carregamento e do ajuste da temperatura interna no consumo energético de um refrigerador doméstico – EVR2021 - 0019

Matheus M. Mugayar^{1, *}, Hudson O.G. Júnior¹, Antônio A.T. Maia¹

¹ Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Mecânica, Laboratório de Automação e Controle
Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, CEP 31270-901

* Autor para correspondência, matheusmugayar@ufmg.br

Resumo

Sistemas de refrigeração têm um grande impacto na economia mundial, influenciando desde setores agrícolas até setores da saúde e informática, consumindo cerca de 20% da energia produzida mundialmente e sendo responsáveis indiretamente por 7,8% das emissões de GEE (Gases de Efeito Estufa). Além disso, muitos proprietários de refrigeradores domésticos não se preocupam em ajustar corretamente a temperatura interna de suas máquinas e desconhecem os prejuízos que alimentos armazenados acima de 5 °C podem trazer para a saúde. Dito isso, o objetivo desse trabalho é analisar o consumo energético de um refrigerador doméstico, correlacionando a posição do termostato com o carregamento de produtos no aparelho. Foi observado que, o refrigerador com termostato na potência mínima possui uma temperatura média interna de 6,01 °C, o que torna esta configuração imprópria para a conservação de alimentos. Já a configuração média do termostato, apesar de ter um maior consumo, mantém a temperatura interna do refrigerador em uma média de 2,22 °C, temperatura adequada para a conservação de alimentos perecíveis. A potência média do termostato mostrou-se preferível, pois oferece temperatura adequada, aumentando o consumo em apenas 2,99 kWh/mês quando o refrigerador está totalmente carregado em comparação com a outra possibilidade apresentada.

Palavras-chave: refrigerador doméstico, consumo energético, termostato, análise.

Introdução

A indústria de refrigeração tem um grande impacto na economia mundial, influenciando desde setores agrícolas até setores da saúde e informática. Um estudo realizado por Dupont et al. (2019) mostra que 20% da energia produzida mundialmente foi consumida por refrigeradores, equipamentos de ar condicionado e aquecedores. Estima-se que existam aproximadamente 5 bilhões dessas máquinas ao redor do mundo e este setor tende a apenas crescer. Nos Estados Unidos, é previsto um crescimento de 15% no setor de 2016-2026, além de que é previsto que a demanda energética destinada a refrigeração dobre até 2050. Somado a isso, 63.3% da eletricidade global é gerada por combustíveis fósseis (Hannah et al. 2020), e em regiões, como o Oriente Médio, ultrapassa a marca de 90% (Looney, 2020), o que, por consequência, faz máquinas de refrigeração serem indiretamente responsáveis por 7,8% das emissões globais de gases do efeito estufa (Dupont et al., 2019). Por tais motivos, o funcionamento e a curva consumo energético de sistemas de refrigeração deve ser analisado de maneira minuciosa e precisa, para que o impacto ambiental causado por tais sistemas possa ser reduzido, já que mudanças climáticas e a agravação efeito estufa causam sérios problemas ao meio ambiente, como o derretimento das calotas polares e aumento do nível do mar.

Dito isso, fica claro que os refrigeradores, principalmente os domésticos, tem um grande impacto no cotidiano das pessoas, porém isso não significa que os donos desses refrigeradores sabem como opera-los de maneira correta, e estão muito menos cientes dos riscos que isso pode trazer para eles. No estudo apresentado por James (2017), foi

analisado o comportamento de vários proprietários de refrigeradores domésticos ao redor do mundo e percebeu que uma grande parcela dos participantes da pesquisa não sabiam a temperatura correta em que seus máquinas deveriam estar operando. No Reino Unido, apenas 47% dos 3200 dos entrevistados sabiam a temperatura recomendada, e mesmo aqueles que possuíam tal conhecimento, muitas vezes não o colocavam em prática, como na Suécia, que apesar de 85% dos que responderam à pesquisa saberem temperatura correta, apenas 60% dos refrigeradores analisados estava com temperaturas abaixo do máximo recomendável, demonstrando que muitos usuários ajustam de forma inadequada o termostato, comprometendo a preservação dos alimentos e afetando diretamente o número de ciclos realizados por suas máquinas, influenciando assim o consumo de seus equipamentos.

Buscando analisar melhor o funcionamento de refrigeradores, Coulter e Bullard (1997), relacionaram a perda energética principalmente com a migração de fluido refrigerante durante o período do ciclo em que o compressor encontra-se desligado. Também identificaram que um refrigerador cíclico opera com uma eficiência de 5% a 25% menor do que uma máquina em regime “quase permanente”. Assim propuseram melhorias, como a instalação de uma válvula solenoide para isolar o condensador do refrigerante, aproximando, assim, o refrigerador ao que seria um regime quase permanente. Outras iniciativas também foram realizadas com o intuito de diminuir o consumo energético de refrigeradores. No trabalho de Rocha Júnior et al., 2018, por exemplo, foi estudada a influência da tensão de alimentação no consumo energético e na performance de um refrigerador doméstico. Foi verificado que uma menor tensão

pode proporcionar uma melhora de até 18.9% no fator de potência do refrigerador. Por fim, Saidur et al., 2002, analisaram o impacto da temperatura ambiente, abertura de porta e posição do termostato e demonstrou que o consumo de energia aumenta de 47-53 Wh para cada grau adicionado à temperatura ambiente, sendo este o fator mais impactante dentre os analisados no estudo.

Dentre os trabalhos analisados, nenhum deles correlacionou diretamente o consumo energético com a carga do refrigerador somado à posição do termostato. Dito isso, o objetivo deste trabalho é realizar uma análise da curva de consumo energético de um refrigerador doméstico, correlacionando a posição do termostato e o carregamento de produtos no aparelho. Este estudo poderá contribuir para o desenvolvimento de alternativas para reduzir o consumo energético e, por consequência, reduzir a dispersão de carbono associada à produção de energia utilizada para satisfazer esta demanda.

Metodologia

O refrigerador utilizado para estudo foi do fabricante Consul, modelo CRC28EBANA, de capacidade de 280 litros, com o congelador interno na mesma cabine. Em concordância com a norma ISO 7371, sobre testes de desempenho em refrigeradores domésticos, a temperatura ambiente externa foi mantida em $32^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, por meio de um sistema de controle desenvolvido pelos próprios autores, os testes foram iniciados de forma remota após a estabilização da temperatura no ambiente fechado.

De acordo com a norma ISO 7371, a temperatura da cabine foi determinada pela média das leituras dos três sensores (T1, T2 e T3) inseridos em posições diferentes dentro da cabine, conforme Figura 1.

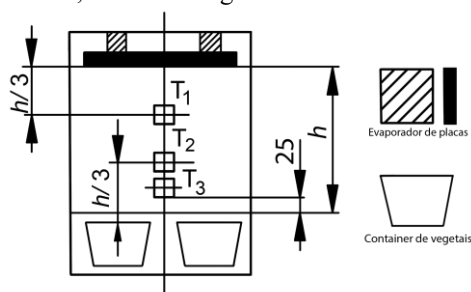


Figura 1: Disposição dos sensores na geladeira
Fonte: ISO 7371

As análises apresentadas foram feitas considerando um período de 6000 segundos após o refrigerador entrar em regime permanente, que é definido pela norma como o período após 24 horas. Os pontos em um ciclo não podem variar mais do que $\pm 0,5$ K em comparação com seus respectivos nos demais ciclos, e a temperatura média não pode apresentar tendência a variar. A ISO 7371 possui um requisito para a devida conservação de alimentos, sendo este de 5°C , ou seja, caso a temperatura média de operação de um refrigerador em regime permanente e determinada configuração ultrapasse esse limite, os alimentos armazenados nele não estão sendo devidamente conservados.

As temperaturas da cabine, bem como dos pontos do circuito térmico do refrigerador, foram medidas por

termopares tipo T ligados a um sistema de aquisição National Instruments, modelo N9211 e NI cDAQ-9178. A potência ativa, a tensão e corrente de operação, a potência reativa e o fator de potência, foram medidas com medidor de potência elétrica Kron Multi-K Plus. O módulo de aquisição de temperaturas e o multimetido foram conectados a um computador e os dados registrados a uma frequência de 2 Hz utilizando uma rotina escrita no software Labview.

Diferentes níveis de carregamento na geladeira foram testados, com o uso de caixas de leite de 1 litro, devidamente higienizadas e preenchidas com água. O volume de água foi mensurado com balão volumétrico. Além disso, os testes foram feitos com o termostato nas posições mínimo e médio. Para cada posição do termostato, foram utilizados três níveis de carregamento: geladeira vazia (zero caixas), carregamento intermediário (20 caixas) e geladeira cheia (50 caixas). No total foram realizados 6 testes.

Resultados

Na Figura 2 está representado o comportamento do refrigerador com 0 caixas e termostato posicionado no mínimo. A temperatura média de operação foi a segunda maior obtida, sendo ela de $6,34^{\circ}\text{C}$ e a potência ativa média foi de 30,39 W. Já a temperatura máxima foi de $7,29^{\circ}\text{C}$ e a mínima de $5,38^{\circ}\text{C}$.

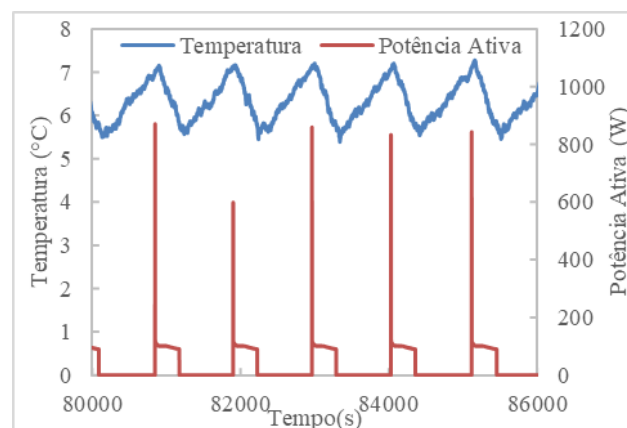


Figura 2: Carga: 0 caixas | Termostato: Mínimo

Observe-se na Figura 3 o teste referente ao refrigerador com 0 Caixas e termostato posicionado na potência média. A temperatura média de operação foi de $3,96^{\circ}\text{C}$, a potência ativa média foi de 35,51 W.

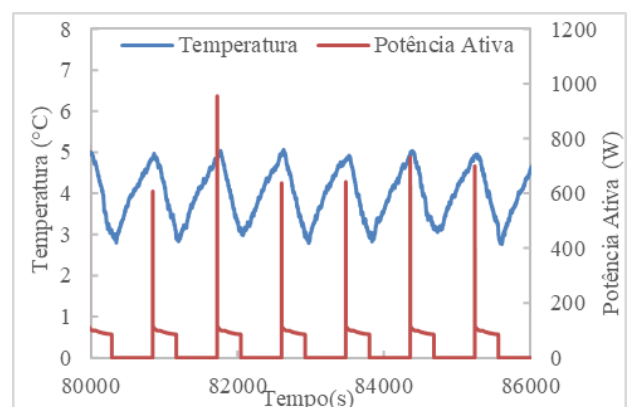
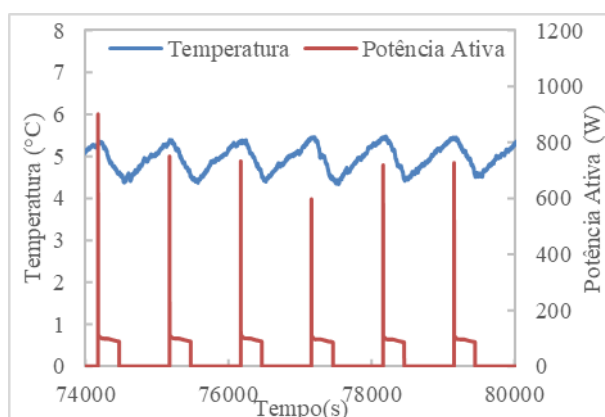


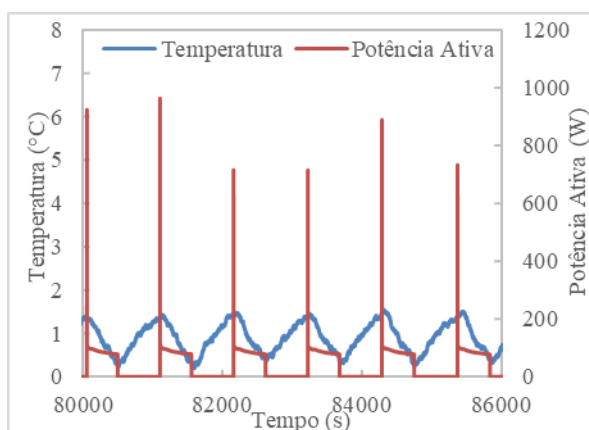
Figura 3: Carga: 0 caixas | Termostato: Médio

Ao mesmo tempo, a temperatura máxima alcançada pelo refrigerador em regime permanente foi de 5,06 °C e a mínima foi de 2,76 °C. Como é possível perceber a máxima atingida ultrapassa em 0,06 o limite estabelecido pela ISO 7371, porém como a média está abaixo do 5 °C, esta configuração é adequada para a conservação de alimentos

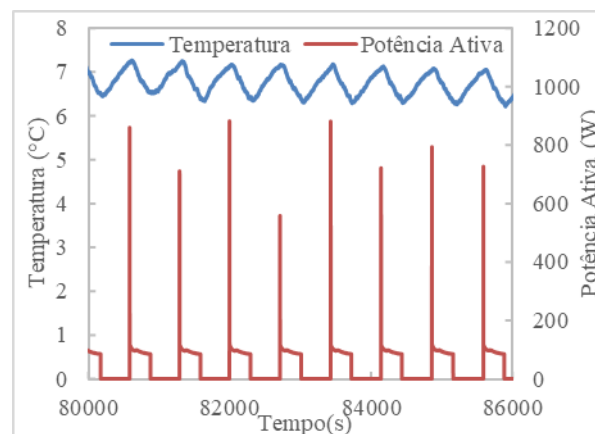
Na Figura 4 é apresentada as curvas de potência e temperatura para o refrigerador carregado com 20 caixas e com o termostato posicionado na configuração mínima. A temperatura média foi de 4,95 °C, com máxima de 5,48 °C e mínima de 4,33 °C, a potência média foi de 29,27 W. Nesta amostra, é notável que, novamente, apesar da temperatura máxima ultrapassar 5° C, a temperatura média se mante-se abaixo de 5 °C.


Figura 4: Carga: 20 caixas | Termostato: Mínimo

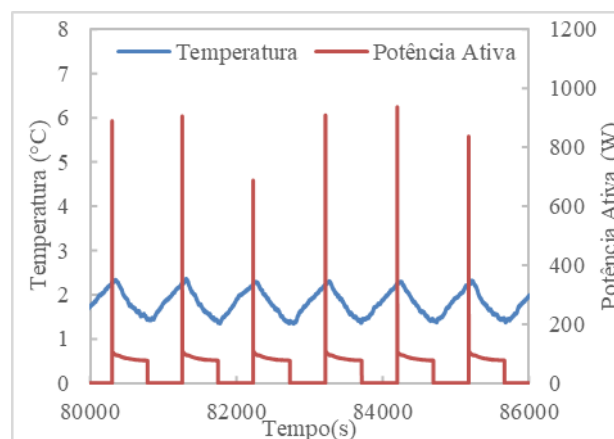
Referente ao teste com carga igual 20 caixas e termostato posicionado em potência média, nota-se uma temperatura de operação média de 0,9 °C, a menor dentre todos os experimentos, com uma máxima de 1,55 °C e mínima de 0,19 °C, portanto enquadrando-se bem abaixo do limite determinado pela norma, porém com uma temperatura alta o suficiente para que não houvesse o congelamento da água presente nas caixas, a potência ativa média desse foi de 40,52 W.


Figura 5: Carga: 20 caixas | Termostato: Médio

Na amostra com o refrigerador carregado com 50 caixas e termostato na posição mínima a maior temperatura média é observada, alcançando a marca dos 6,74 °C, com temperatura máxima de 7,27 °C e mínima de 6,21 °C, claramente superando o limite estabelecido pela ISO 7371. Somado a isso, esse teste possuiu a segunda maior potência ativa média durante o período da amostragem, de 40,59 W.


Figura 6: Carga: 50 caixas | Termostato: Mínimo

Por fim, a última amostragem com um carregamento de 50 caixas e operando com o termostato na posição média, constata-se que este teste possui a segunda menor temperatura média de operação, de 1,81 °C, com máxima de 2,36 °C e mínima de 1,34 °C, portanto esta configuração de termostato é adequada para essa quantidade de carga de acordo com a norma citada anteriormente. Porém ele gerou a maior potência ativa média, sendo ela igual a 42,4 W.


Figura 7: Carga: 50 caixas | Termostato: Médio

É necessário pontuar um acontecimento verificado em todos os testes. Conforme pode ser notado, há um pico na potência ativa no início de cada ciclo de refrigeração, gerado pela ativação do compressor. Para melhor compreensão e análise de pontos importantes dos ciclos, os valores de temperatura média de operação e a consumo em kWh/mês foram organizados na Figura 8. Percebe-se que o termostato na posição mínima não é adequado para a conservação de alimentos, pois até mesmo o com carga iguala 20, a temperatura média manteve-se apenas 0,05 °C abaixo do

limite estabelecido. Toda via, verifica-se que essa configuração oferece o menor consumo dentre as duas, sendo que a que requer a menor potência é a com 20 caixas. Verifica-se também, que em nenhuma configuração a temperatura alcançou um valor menor que 0 °C, evitando a formação de gelo na água armazenada.

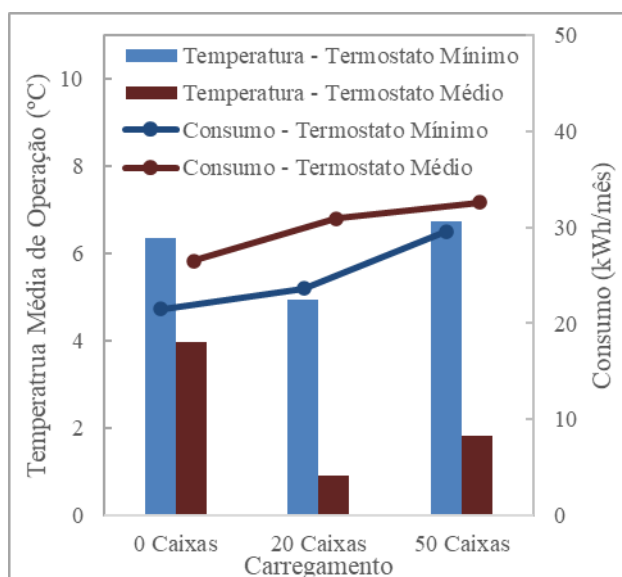


Figura 8: Temperatura Média de Operação e Consumo Mensal

Conclusões

Neste estudo foi avaliado o comportamento da temperatura e do consumo energético de um refrigerador doméstico, para diferentes carregamentos de produtos e posições do termostato. A partir dos resultados obtidos, importa destacar as seguintes conclusões:

- Há um grande aumento na potência durante o início de um ciclo de refrigeração devido à ativação do compressor, conforme apontado por Coulter e Bulard (1997);

- Apesar de se ter alcançado o menor consumo energético com o termostato na posição no mínimo, este ajuste resulta em temperatura média de 6.01 °C, que é superior ao valor recomendado para a correta preservação dos alimentos. O ajuste do termostato na posição médio garantiu a temperatura ideal para a preservação dos alimentos em todos os casos avaliados, com uma temperatura média de 2,22 °C;

- O consumo de energia aumentou com o carregamento, tendo um máximo quando o refrigerador está com carga máxima e termostato na potência Média e um mínimo quando o refrigerador está carregado com 20 caixas e termostato na potência mínima

- O refrigerador alcançou temperaturas mais baixas quando está carregado, o que pode ser explicado pelo efeito da capacidade térmica da massa de água armazenada na geladeira.

Assim, conclui-se que, dentro das opções da posição do termostato testadas, a ideal é a posição média, pois ela mantém a temperatura da cabine sempre abaixo do limite recomendado pela ISO 7371 e não há um aumento significativo no consumo, pois o refrigerador totalmente abastecido com o termostato nessa configuração consome

2,99 kWh/mês a mais do que se estivesse com o termostato na potência mínima.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico Pesquisa (CNPq) pelo suporte financeiro.

Referências

- International Standard. ISO 7371: Performance of Household refrigerating appliances – Refrigerators with or without low temperature compartment
- Hannah Ritchie (2020) – “Electricity Mix”. Publicado online em OurWorldInData.org. Encontrado em ‘<https://ourworldindata.org/electricity-mix>’ (Último acesso: 09/01/2021, 13:36)
- Coulter, W. H., & Bullard, C. W. (1997). Experimental analysis of cycling losses in domestic refrigerator-freezers. *ASHRAE Transactions*, 103(1), 587–596.
- Dupont, J. L., Domanski, P., Lebrun, P., & Ziegler, F. (2019). 38th Note on Refrigeration Technologies: The Role of Refrigeration in the Global Economy. *38th IIR Informatory note*, 12. http://www.iifir.org/userfiles/file/publications/notes/NoteTech_38_EN.pdf
- James, C., Onarinde, B. A., & James, S. J. (2017). The Use and Performance of Household Refrigerators: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(1), 160–179. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12242>
- Looney, B. (2020). Statistical Review of World Energy, 2020 | 69th Edition. *Bp*, 69, 66. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>
- Rocha Júnior, A. B., Pimenta, R. M. M., Cheng, W. W., Machado, L., & Maia, A. A. T. (2018). The influence of the supply voltage on the performance of a domestic refrigerator. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 40(2). <https://doi.org/10.1007/s40430-017-0950-2>
- Saidur, R., Masjuki, H. H., & Choudhury, I. A. (2002). Role of ambient temperature, door opening, thermostat setting position and their combined effect on refrigerator-freezer energy consumption. *Energy Conversion and Management*, 43(6), 845–854. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(01\)00069-3](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(01)00069-3)

Aviso de responsabilidade

Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído neste documento.