



ConBREpro

XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

I CIGELUBRA

Congresso Internacional de Gestão e Engenharia Luso-Brasileiro

04 a 06 de dezembro de 2024

Energias Limpas nas Engenharias

Investigação Experimental de um Aquecedor de Parede a Óleo

Lucas Kalat

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Departamento Acadêmico de Engenharia Mecânica (DAMEC), Ponta Grossa/PR, Brasil

Felipe Mercês Biglia

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais (PPGEM-CT), Curitiba/PR, Brasil

Victor Vaurek Dimbarre

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Programa de Pós-Graduação *Multicampi* em Engenharia Mecânica (PPGEM-CP/PG), Ponta Grossa/PR, Brasil

Paulo Henrique Dias dos Santos

Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Departamento de Engenharia Mecânica (DEM), João Pessoa/PB, Brasil

Thiago Antonini Alves

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Programa de Pós-Graduação *Multicampi* em Engenharia Mecânica (PPGEM-CP/PG), Ponta Grossa/PR, Brasil

Resumo: O presente trabalho consiste na análise experimental do desempenho térmico de um aquecedor de parede do tipo radiador operando a 70°C, utilizando óleo como fluido de trabalho. Os testes experimentais foram realizados em um ambiente controlado com um trocador de calor de aço inoxidável de 4,45L, acionado por um resistor elétrico de 900W, controlado via sistema PID. Termopares foram utilizados para medir as temperaturas superficiais, enquanto um sistema foi implementado para medir a corrente, tensão e potência consumida, além de parâmetros ambientais como temperatura e umidade relativa. A análise estatística dos dados coletados confirmou que o desempenho térmico do aquecedor corresponde às expectativas da literatura. Os resultados experimentais desse estudo são fundamentais para o desenvolvimento de soluções de aquecimento doméstico mais eficientes e sustentáveis, destacando a necessidade de inovações tecnológicas que atendam à demanda por conforto térmico e eficiência energética, contribuindo assim para a diminuição do consumo de energia e seus efeitos ambientais.

Palavras-chave: Aquecedor de parede, Desempenho térmico, Eficiência energética, Impactos ambientais.

Experimental Investigation of an Oil Wall-Mounted Radiator

Abstract: The present work consists of an experimental analysis of the thermal performance of a wall-mounted radiator heater operating at 70°C, utilizing oil as the working fluid. The experimental tests were conducted in a controlled environment using a stainless-steel heat exchanger with a volume of 4.45L, powered by a 900W electric resistor controlled via a PID system. Thermocouples were used to measure surface temperatures, while a system was implemented to monitor current, voltage, and power consumption, along with environmental parameters such as temperature and relative humidity. Statistical analysis of the collected data confirmed that the thermal performance of the heater aligns with literature expectations. The experimental results of this study are essential for

the development of more efficient and sustainable domestic heating solutions, highlighting the need for technological innovations that meet the demand for thermal comfort and energy efficiency, thereby contributing to the reduction of energy consumption and its environmental effects.

Keywords: Wall-Mounted Radiator, Thermal Performance, Energy Efficiency, Environmental Impacts.

1. Introdução

Os aquecedores de parede destinados ao aquecimento interno são dispositivos projetados para elevar a temperatura de ambientes, convertendo energia elétrica em energia térmica. Eles utilizam diversos métodos para gerar calor, incluindo resistores elétricos, combustão de combustíveis ou troca de calor com um fluido. O calor produzido é transferido para o ambiente por meio de condução, convecção e radiação térmica, visando alcançar e manter uma temperatura específica (MORAN *et al.*, 2018). Esses equipamentos são amplamente empregados em residências, escritórios, estabelecimentos comerciais e outros ambientes internos, garantindo conforto durante períodos de clima frio ou em regiões com temperaturas mais baixas (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Um aquecedor a óleo, em particular, utiliza óleo como meio de transferência térmica. De acordo com BERGMAN e LAVINE (2019), esse tipo de aquecedor consiste em um tanque de óleo que é aquecido por elementos de aquecimento elétrico ou por meio da combustão de combustível. O óleo, ao absorver calor, aquece-se e, conseqüentemente, transfere essa energia térmica para o ambiente. Uma das principais vantagens dos aquecedores a óleo é a sua capacidade de manter a temperatura do ambiente aquecido por períodos prolongados, mesmo após serem desligados, graças à elevada capacidade térmica do óleo (ELLIOTT; LIRA, 2012).

Estudos voltados para a melhoria da eficiência térmica são fundamentais, pois oferecem benefícios econômicos e ambientais significativos. Como destacado por Ristinen *et al.* (2016), aprimorar a eficiência térmica reduz o consumo de energia, resultando em diminuição dos custos operacionais. Além disso, ao maximizar a utilização da energia disponível, esses esforços ajudam a mitigar o impacto ambiental associado à produção e ao consumo de energia.

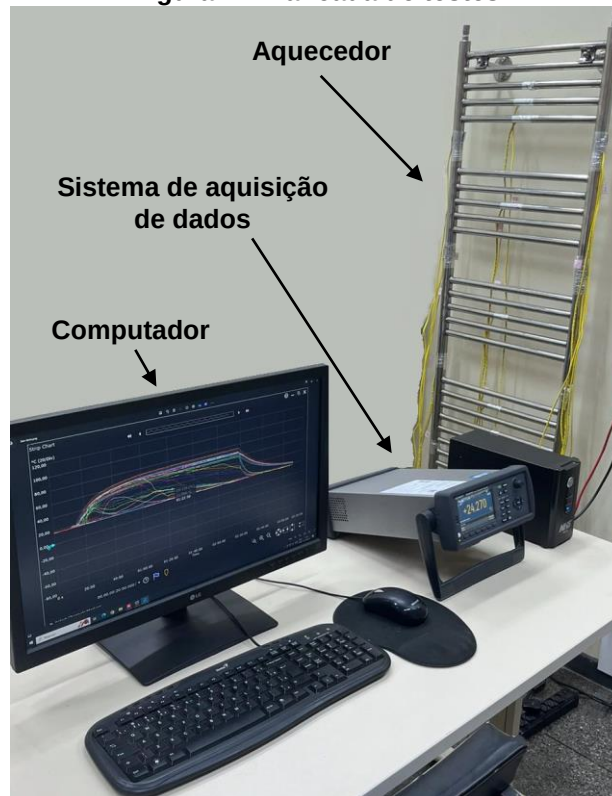
Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo realizar uma análise experimental do desempenho térmico de um aquecedor de parede operando a 70°C, focando em aspectos como a distribuição de temperaturas, dissipação de potência e consumo de energia. Essa investigação experimental não apenas contribuirá para o entendimento do funcionamento desses dispositivos, mas também buscará identificar oportunidades de otimização que possam promover um uso mais eficiente e sustentável da energia.

2. Metodologia

Os ensaios experimentais foram executados no Laboratório de Meios Porosos e Eficiência Energética (LabMPEE) do Programa de Pós-Graduação *Multicampi* em Engenharia Mecânica (PPGEM-CP/PG) da UTFPR/Ponta Grossa em uma bancada de testes com ambiente controlado, contendo um aquecedor de parede a óleo, conforme as Figuras 1 e 2. Esse aquecedor foi fabricado em aço inoxidável possuindo volume interno de 4,45L.

O aparato experimental foi composto por sistema de aquisição de dados *Keysight*® DAQ970A, um computador *Dell*® e um *nobreak NHS*®. O protótipo foi aquecido por meio de um resistor elétrico com dissipação de potência de 900W, via Efeito *Joule*, sendo controlado por um controlador de temperatura *Novus*® N1040T, configurado sobre um controle PID.

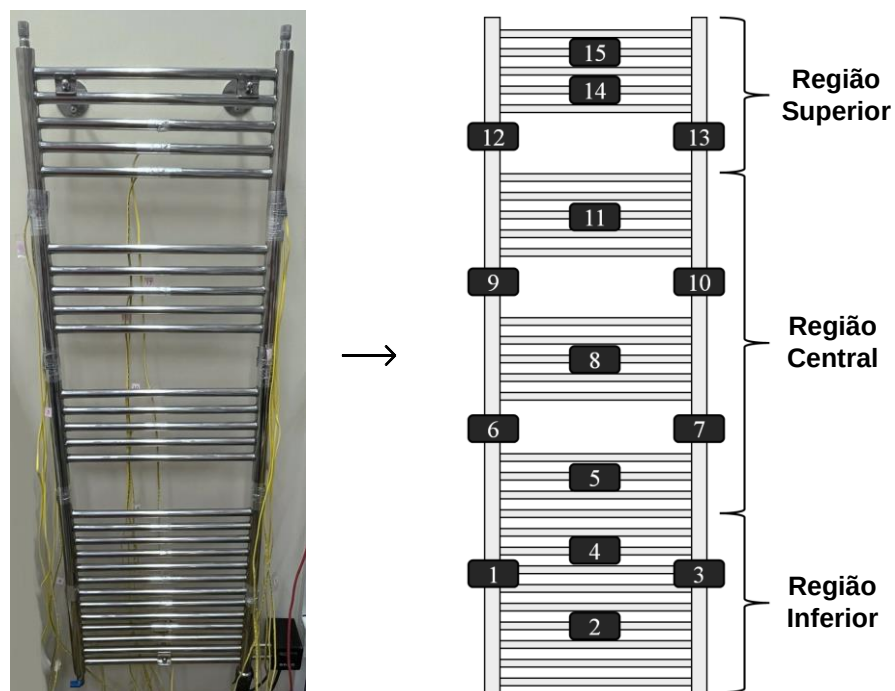
Figura 1 – Bancada de testes



Fonte: Autoria própria (2024)

As temperaturas de superfície foram medidas por meio de termopares tipo K *Omega Engineering*®. A Figura 2 ilustra os pontos estratégicos onde os termopares foram fixados para análise posterior.

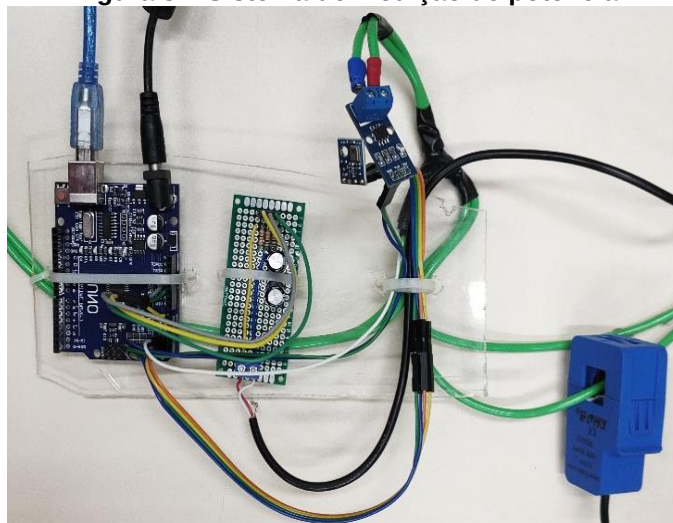
Figura 2 – Pontos de medição de temperatura



Fonte: Autoria própria (2024)

Para a análise de potência foi implementado um sistema *Arduino® UNO* para medir os valores de corrente, tensão e potência consumida, bem como a medição de parâmetros ambientais, como temperatura ambiente e umidade relativa do ar, mostrado na Figura 3.

Figura 3 – Sistema de medição de potência



Fonte: Autoria própria (2024)

A metodologia utilizada nos procedimentos experimentais foi dividida nas seguintes etapas:

- #1) isolar o ambiente de teste (laboratório);
- #2) preparar e verificar os sistemas de medição;
- #3) aguardar o tempo necessário para estabilização dos parâmetros ambientais;
- #4) ligar o controlador e os sistemas de aquisição de dados;
- #5) ligar o resistor elétrico, ajustando o termostato para temperatura desejada (teste);
- #6) realizar as medições a cada intervalo de 10 segundos;
- #7) salvar os dados obtidos para análise posterior.

As incertezas experimentais relacionadas aos instrumentos de medição utilizados são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Incertezas de medição

Parâmetro	Instrumento de medição	Incerteza
Corrente	Sensor de corrente - STC013	$\pm 0,10$ A
Potência	Sistema de medição de potência	$\pm 16,97$ W
Temperatura	Termopar Tipo K	$\pm 0,25^\circ\text{C}$
Tensão	Sensor de tensão - ZMPT101B	$\pm 2,5$ V

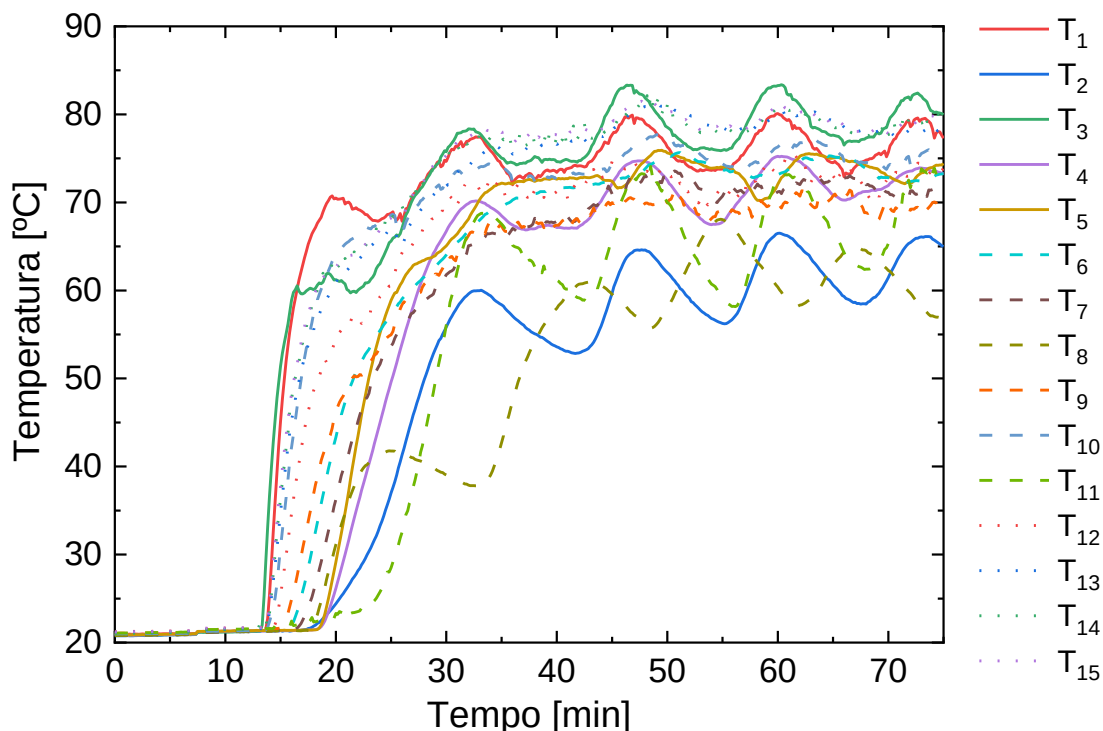
Fonte: Autoria própria (2024)

3. Resultados

A Figura 4 ilustra a relação entre temperatura e tempo para o aquecedor de parede a óleo, ajustado para uma temperatura de 70°C através do controlador de temperatura, atendendo ao objetivo de analisar como a temperatura se distribui em diferentes regiões do aquecedor (inferior, central e superior).

As temperaturas mais altas são observadas na parte superior do aquecedor de parede, onde ocorre uma maior dissipação de calor, enquanto as temperaturas mais baixas são registradas na região central. Esses resultados experimentais encontrados confirmam os princípios básicos de funcionamento de um aquecedor de parede do tipo radiador (KREITH *et al.*, 2012).

Figura 4 – Distribuição de temperatura *versus* tempo



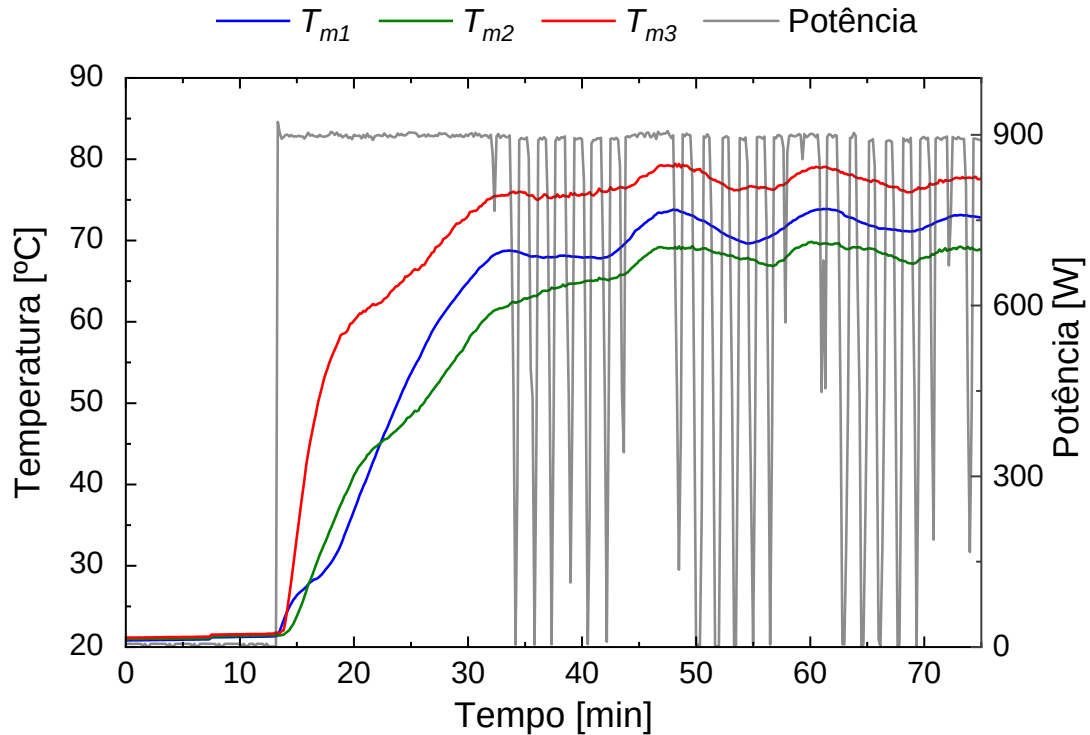
Fonte: Autoria própria (2024)

A Figura 5 apresenta o comportamento das temperaturas no aquecedor em relação a dissipação de potência e o tempo para uma temperatura de operação de 70°C, ajustada pelo controlador, com o objetivo de analisar o desempenho do aquecedor a óleo durante seu funcionamento. Nessa figura, as temperaturas T_{m1} , T_{m2} e T_{m3} correspondem às temperaturas médias das Regiões Inferior (1), Central (2) e Superior (3), conforme indicado na Tabela 2.

Pode ser observado que a dissipação de potência no aquecedor de parede a óleo está diretamente relacionada ao aumento da temperatura do dispositivo (ÇENGEL; GHAJAR, 2020). O incremento de temperatura é refletido pela amplitude da curva senoidal; quanto maior a amplitude, maior será o aumento de temperatura do aquecedor durante os ciclos operacionais. O intervalo médio de frequência dos ciclos de operação, referente ao controle de temperatura no teste experimental, foi de aproximadamente 13 (treze) minutos. Em cada ciclo, o aquecedor de parede do tipo radiador aquece gradualmente à medida que a dissipação de potência aumenta, alcançando um pico máximo, antes de resfriar quando a potência dissipada é interrompida.

O padrão senoidal indica que a dissipação de potência no aquecedor a óleo apresenta variação cíclica ao longo do tempo, com essa variação associada à natureza periódica de sua condição operacional, sendo frequentemente observado em sistemas que alternam entre ciclos de atividade e repouso ou cuja carga varia periodicamente (MARTINEZ-VELASCO, 2015).

Figura 5 – Distribuição de potência *versus* tempo



Fonte: Autoria própria (2024)

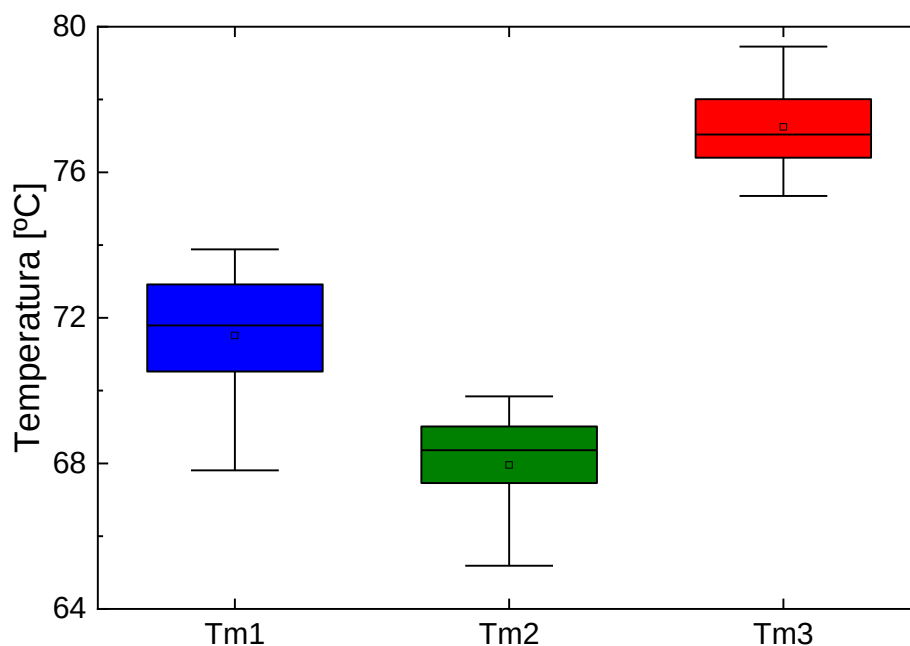
Tabela 2 – Dissipação de potência *versus* tempo

Tempo [min]	T_{m1} [°C]	T_{m2} [°C]	T_{m3} [°C]	Potência [W]
0	20,1	20,1	20,1	0
10	21,2	21,4	21,6	0
20	36,8	41,1	60,1	900
30	64,9	57,7	73,0	898
40	67,9	64,9	75,7	892
50	72,8	68,9	78,7	894
60	73,6	69,8	78,9	900
70	71,6	67,9	76,4	896

Fonte: Autoria própria (2024)

Considerando o estado de regime *quasi* permanente no intervalo de tempo de 35 minutos a 75 minutos, foi possível elaborar um gráfico do tipo *boxplot*, conforme apresentado na Figura 6, alinhado com o objetivo de analisar a distribuição de temperaturas nas diferentes partes do aquecedor a óleo. Os valores experimentais obtidos foram aproximadamente 80°C e 65°C, correspondendo ao limite máximo e mínimo, respectivamente, nas regiões superior (T_{m3}) e central (T_{m2}).

Figura 6 – Diagrama de caixa (*boxplot*) dos dados de temperaturas médias



Fonte: Autoria própria (2024)

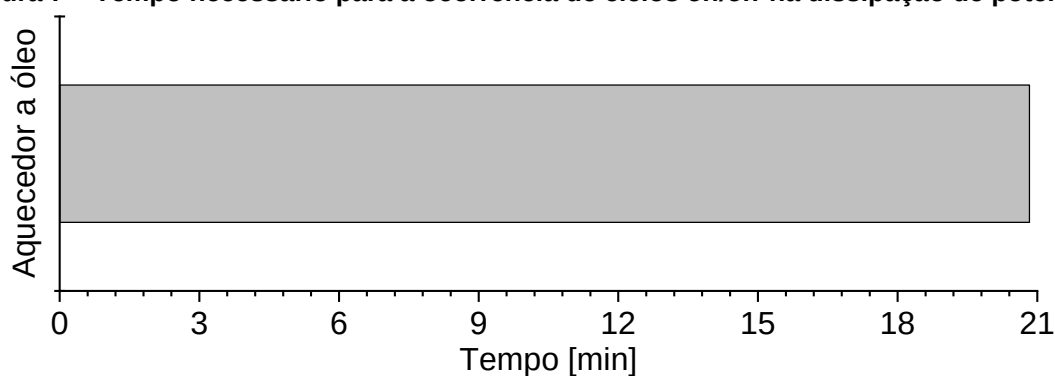
A Tabela 3 e as Figuras 7 e 8 fornecem os dados referentes ao tempo necessário para a ocorrência de ciclos *on/off* associado a dissipação de potência (resistor elétrico) de acordo com o termostato de controle de temperatura e o consumo de energia do aquecedor de parede do tipo radiador a óleo.

Tabela 3 – Tempo para o *on/off* e consumo de energia

Tempo para o <i>on/off</i> [min]	Consumo [Wh]
20,8	758,1

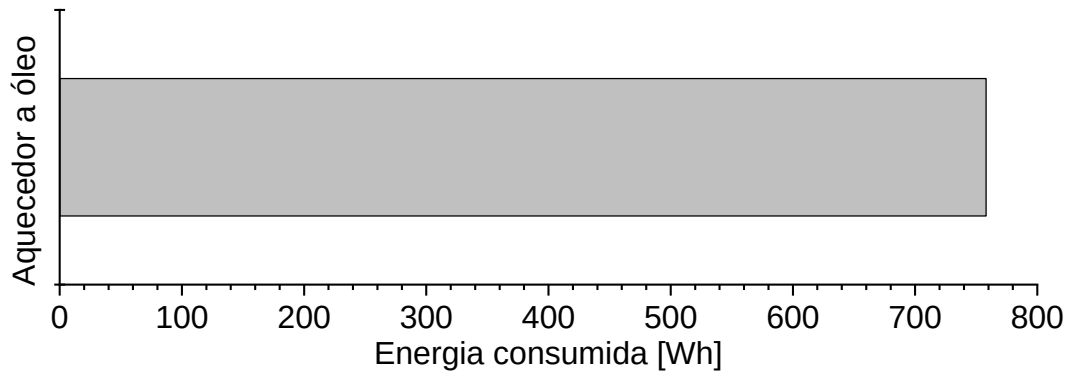
Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 7 – Tempo necessário para a ocorrência de ciclos *on/off* na dissipação de potência



Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 8 – Consumo de energia



Fonte: Autoria própria (2024)

O consumo energético necessário para operar o aquecedor de parede a óleo em uma temperatura operacional de 70°C foi de 758,1Wh (aproximadamente 0,76kWh). Esse dado quantifica o uso de energia do dispositivo durante o período analisado, proporcionando uma métrica clara para avaliar sua eficiência e impacto no consumo total de energia.

4. Conclusões

Nesta investigação experimental, foi verificado experimentalmente que o aquecedor de parede do tipo radiador a óleo, operando a 70°C, apresentou um desempenho térmico consistente com o esperado. Os resultados experimentais confirmam a eficácia do modelo em manter o ambiente aquecido por períodos prolongados, mesmo após o desligamento, graças à alta capacidade térmica do óleo. A eficiência térmica demonstrada nesse estudo aponta para a viabilidade de otimizar o consumo energético de sistemas de aquecimento, contribuindo para a redução de custos operacionais e minimizando o impacto ambiental associado ao uso de energia. Tais resultados são promissores para o desenvolvimento de dispositivos de aquecimento mais sustentáveis e eficientes. Esse estudo experimental reforça resultados previamente documentados na literatura e abre caminho para futuras pesquisas. Trabalhos futuros podem explorar a eficiência de outros fluidos térmicos e a incorporação de tecnologias inteligentes para o controle otimizado da temperatura. Esses avanços podem aumentar significativamente a contribuição desses dispositivos para a eficiência energética global, uma vez que a otimização da eficiência térmica é crucial para promover a sustentabilidade energética.

Agradecimentos

Agradecimentos são prestados à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de mestrado ao *Victor Vaurek Dimbarre* e de doutorado ao *Felipe Mercês Biglia*; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsas de produtividade em pesquisa ao Prof. *Thiago Antonini Alves* (Processo nº 312367/20228). Agradecimentos também são externados à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PROPPG) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), às Diretorias de Pesquisa e Pós-Graduação (DIRPPGs), ao Programa de Pós-Graduação *Multicampi* em Engenharia Mecânica (PPGEM-CP/PG) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais (PPGEM-CP) e aos Departamentos Acadêmicos de Mecânica (DAMECs) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR/Campi Ponta Grossa e Curitiba.

Referências

- BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. Grupo GEN, Porto Alegre, 2019.
- ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. **Heat and mass transfer: fundamentals and applications**. McGraw-Hill Education, New Jersey, 2020.
- ELLIOTT, J. R.; LIRA, C. T. **Introductory chemical engineering thermodynamics**. Prentice-Hall, New York, 2012.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. Studio Nobel, São Paulo, 2001.
- KREITH, F. *et al.* **Princípios de transferência de calor**. Cengage Learning, São Paulo, 2012.
- MARTINEZ-VELASCO, J. A. **Transient analysis of power systems: solution techniques, tools and applications**. Springer, New York, 2015.
- MORAN, M. J. *et al.* **Fundamentals of engineering thermodynamics**. John Wiley & Sons, New York, 2018.
- RISTINEN, R. A. *et al.* **Energy and the environment**. John Wiley & Sons, New York 2016.