AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DE UM AQUECEDOR DE PAREDE

Felipe M. Biglia [1] (biglia@alunos.utfpr.edu.br), Victor V. Dimbarre [2] (victordimbarre@alunos.utfpr.edu.br), Paulo H. D. dos Santos [3] (profpaulosantosct@gmail.com), Thiago Antonini Alves [1,2] (antonini@utfpr.edu.br)

[1] Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR); Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e Materiais, Curitiba
[2] Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR); Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Ponta Grossa
[3] Universidade Federal da Paraíba (UFPB); Departamento Acadêmico de Mecânica, João Pessoa

RESUMO: *Este estudo investiga experimentalmente o desempenho térmico de um aquecedor de parede com temperatura de operação de 70ºC, focando na distribuição de temperaturas, dissipação de potência e consumo de energia. Os experimentos foram realizados em um ambiente controlado, utilizando um protótipo que utiliza óleo como fluido de trabalho. O aquecedor, fabricado em aço inoxidável com um volume interno de 4,45L, foi acionado por meio de um resistor elétrico com dissipação de potência de 900W, via Efeito Joule, configurado sobre um controle PID. Termopares foram empregados para medir as temperaturas superficiais, enquanto um sistema foi desenvolvido para registrar corrente, tensão e potência consumida pelo aquecedor, juntamente com parâmetros ambientais como temperatura e umidade relativa. A análise estatística dos resultados permitiu avaliar o desempenho térmico do aquecedor de parede, confirmando sua conformidade com as expectativas da literatura. A eficiência energética desempenha um papel crucial na promoção do uso responsável de recursos e na redução dos impactos ambientais. Assim, a busca por sistemas de aquecimento que combinem alta eficiência energética e conforto térmico é fundamental para atender às necessidades dos usuários de forma sustentável. Esses dados são cruciais para o avanço de soluções de aquecimento mais eficientes e sustentáveis, contribuindo para a redução do consumo de energia e dos impactos ambientais.*

PALAVRAS-CHAVE: *Aquecedor, Desempenho Térmico, Eficiência Energética.*

EXPERIMENTAL EVALUATION OF A WALL-MOUNTED HEATER

ABSTRACT: *This study experimentally investigates the thermal performance of a wall heater with an operating temperature of 70°C, focusing on temperature distribution, power dissipation, and energy consumption. The experiments were conducted in a controlled environment using a prototype that employs oil as the working fluid. The heater, manufactured in stainless steel with an internal volume of 4.45L, was activated by means of an electric resistance with power dissipation of 900W, via Joule Effect, configured on a PID control. Thermocouples were employed to measure surface temperatures, while a system was developed to record current, voltage, and power consumed by the heater, along with environmental parameters such as temperature and relative humidity. Statistical analysis of the results allowed evaluating the thermal performance of the wall heater, confirming its compliance with literature expectations. Energy efficiency plays a crucial role in promoting responsible resource use and reducing environmental impacts. Thus, the search for heating systems that combine high energy efficiency and thermal comfort is essential to meet users' needs sustainably. This data is crucial for advancing more efficient and sustainable heating solutions, contributing to reducing energy consumption and environmental impacts.*

KEYWORDS: *Heater, Thermal Performance, Energy Efficiency.*

1. INTRODUÇÃO

Os aquecedores de parede para aquecimento interno são dispositivos que elevam a temperatura do ambiente ao converter energia elétrica em energia térmica. Eles empregam diferentes métodos para gerar calor, como resistor elétrico, queima de combustível ou troca de calor utilizando um fluido. Por meio de condução, convecção e radiação térmica, o calor produzido é transferido para o ambiente, com o objetivo de alcançar e manter uma temperatura específica (Moran *et al.*, 2018). Esses dispositivos são amplamente utilizados em residências, escritórios, estabelecimentos comerciais e outros espaços internos para assegurar um ambiente confortável durante períodos de clima frio ou em regiões com baixas temperaturas (Frota e Schiffer, 2016).

Um aquecedor de óleo é um dispositivo de aquecimento que emprega 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 meio de elementos de aquecimento elétrico ou por queima de combustível. O óleo absorve o calor, aquecendo-se e transferindo o calor para o ambiente. Uma das principais vantagens desses aquecedores a óleo é sua capacidade de manter o ambiente aquecido por um período prolongado mesmo após ser desligado, devido à alta capacidade térmica do óleo (Elliott e Lira, 2012).

1.1 Justificativa

Trabalhos voltados para a melhoria da eficiência térmica são importantes devido aos benefícios econômicos e ambientais que podem proporcionar. Conforme descrito por Ristinen *et al*. (2016), aprimorar a eficiência térmica reduz o consumo de energia e, consequentemente, os custos operacionais. Além disso, ao maximizar a utilização da energia fornecida, esses trabalhos contribuem para minimizar o impacto ambiental associado à produção e utilização de energia.

1.2 Objetivo

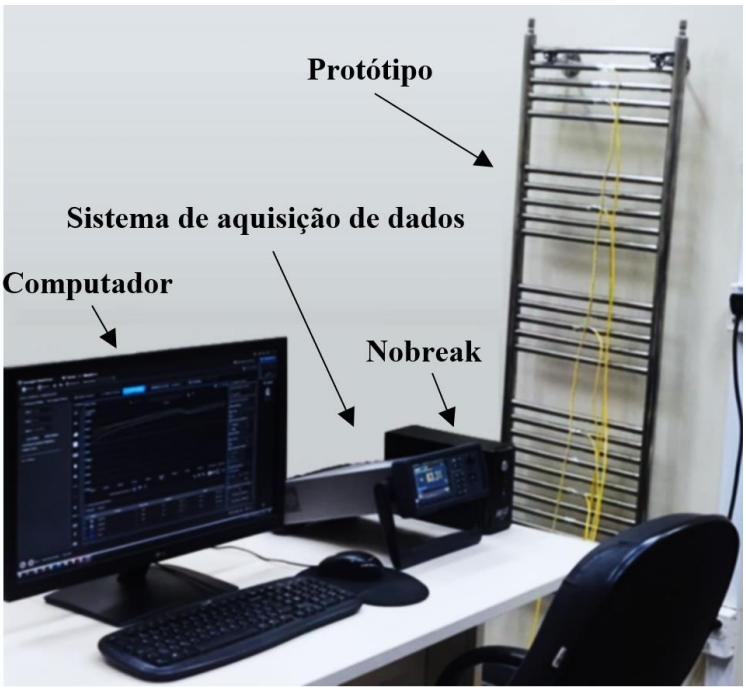
O presente estudo busca realizar uma análise experimental do desempenho térmico de um aquecedor de parede, operando à 70°C, em termos de distribuição de temperaturas, dissipação de potência e consumo de energia.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios experimentais foram executados em uma bancada de testes com ambiente controlado, contendo um aquecedor de parede a óleo, conforme as Figuras 1 e 2. O aquecedor foi confeccionado 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.

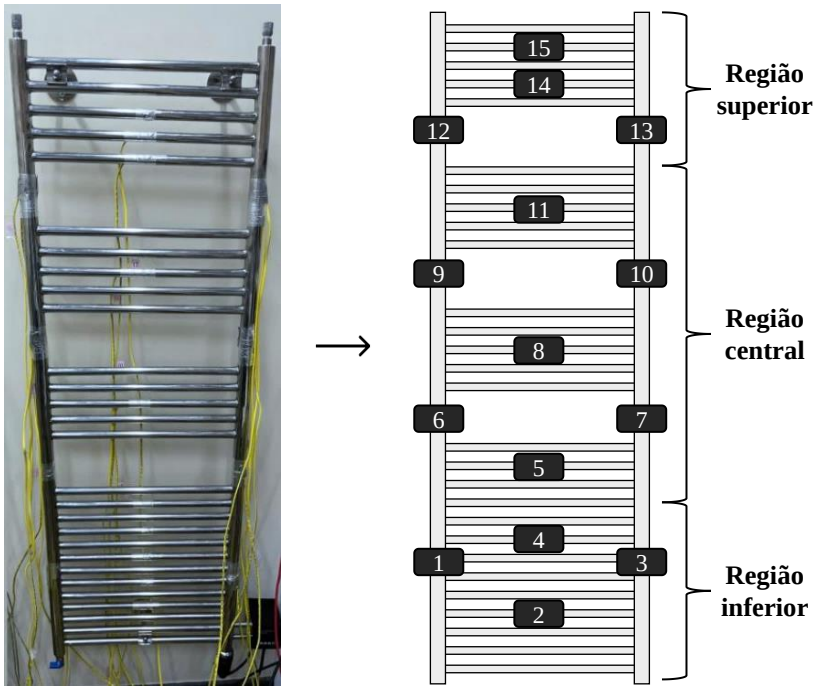
FIGURA 1. Bancada de testes.



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.

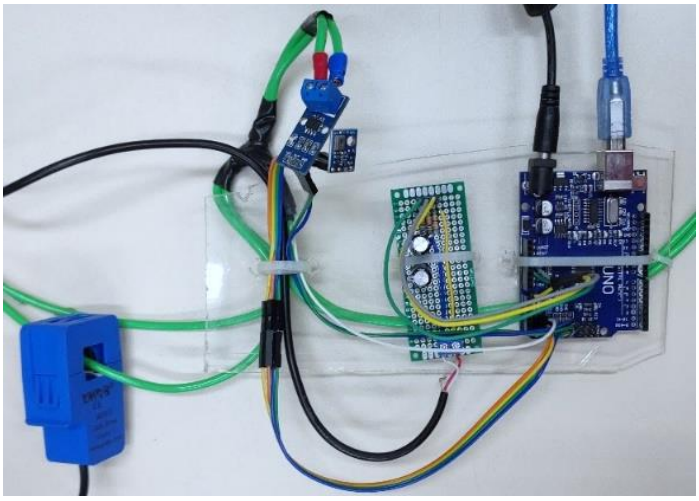
FIGURA 2. Pontos de medição de temperatura.



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 durante os procedimentos experimentais foi dividida nas seguintes etapas:

Etapa #1) isolar o ambiente de teste (laboratório);

Etapa #2) preparar e verificar os sistemas de medição;

Etapa #3) aguardar o intervalo de tempo necessário para estabilização dos parâmetros ambientais;

Etapa #4) ligar o controlador e os sistemas de aquisição de dados;

Etapa #5) ligar o resistor elétrico, ajustando o termostato para temperatura desejada (teste);

Etapa #6) realizar as medições a cada intervalo de 10 segundos;

Etapa #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.

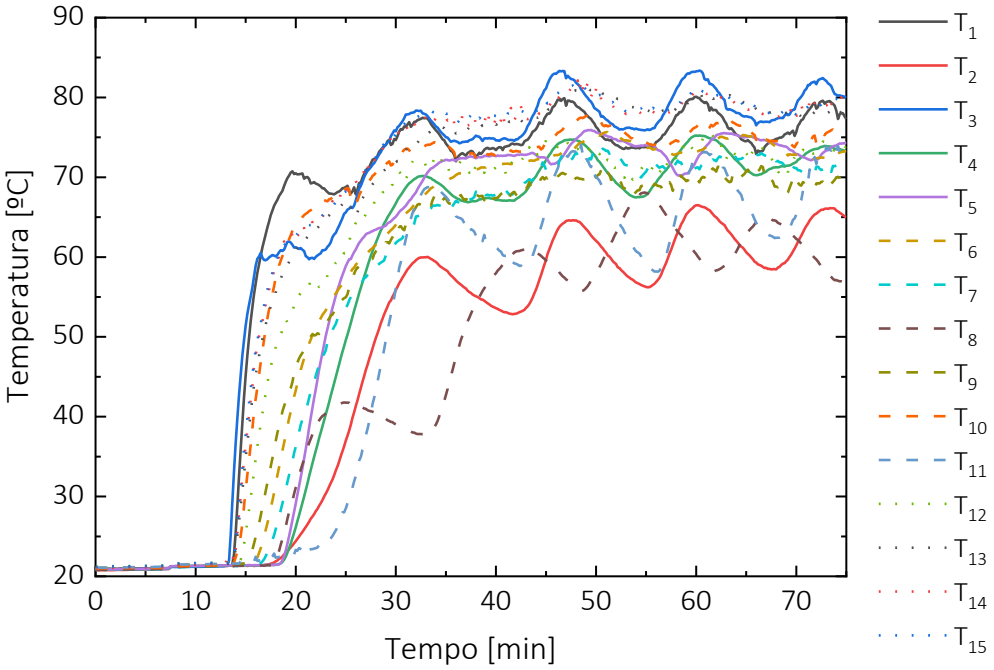
Parâmetro	Instrumento de medição	Incerteza
Corrente	Sensor de corrente - STC013	±0,10 A
Potência	Sistema de medição de potência	±16,97 W
Temperatura	Termopar Tipo K	±0,25ºC
Tensão	Sensor de tensão - ZMPT101B	±2,5 V

Fonte: Autoria própria (2024).

3. RESULTADOS

A Figura 4 mostra a distribuição de temperatura *versus* tempo para o aquecedor de parede a óleo com a designação de temperatura de 70ºC, por meio do controlador de temperatura, atendendo ao objetivo de analisar a distribuição de temperaturas do aquecedor de parede em diferentes regiões (inferior, central e superior).

FIGURA 4. Distribuição de temperatura *versus* tempo - Teste experimental para 70ºC.



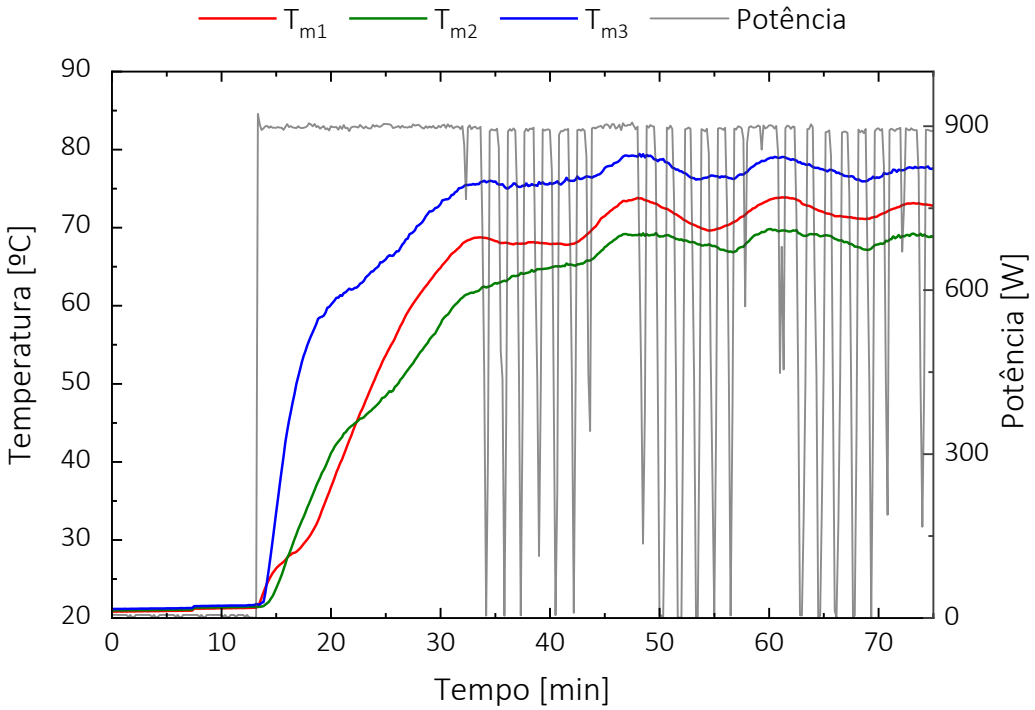
Fonte: Autoria própria (2024).

As regiões mais elevadas de temperatura são encontradas na parte superior do aquecedor de parede, onde há uma maior dissipação de calor, enquanto as temperaturas mais baixas são registradas na seção central. Esses resultados corroboram os princípios fundamentais de operação de um aquecedor de parede do tipo radiador (Kreith *et al*., 2012).

A Figura 5 mostra a dissipação de potência *versus* tempo, para a temperatura designada por meio do controlador de temperatura, de 70ºC, relativo ao objetivo de analisar a dissipação de potência do aquecedor durante o funcionamento. Nela, T_{m1}, T_{m2} e T_{m3} são as temperaturas médias das regiões: inferior (1), central (2) e superior (3), conforme apresentado na Tabela 2.

Pode ser observado que a dissipação de potência, está diretamente relacionada ao aumento de temperatura do dispositivo (Çengel e Ghajar, 2020). O aumento de temperatura é representado pela amplitude da curva senoidal. Quanto maior a amplitude, maior é o aumento de temperatura durante os ciclos de operação. O intervalo de frequência médio dos ciclos de operação para o teste experimental, referente ao controle de temperatura, foi de aproximadamente 13 minutos. Em cada ciclo, o dispositivo aquece gradualmente à medida que a dissipação de potência aumenta, atingindo um pico máximo, e depois resfria quando a potência dissipada é suspensa.

FIGURA 5. Dissipação de potência *versus* tempo - Teste experimental para 70ºC.



Fonte: Autoria própria (2024).

TABELA 2. Dissipação de potência *versus* tempo.

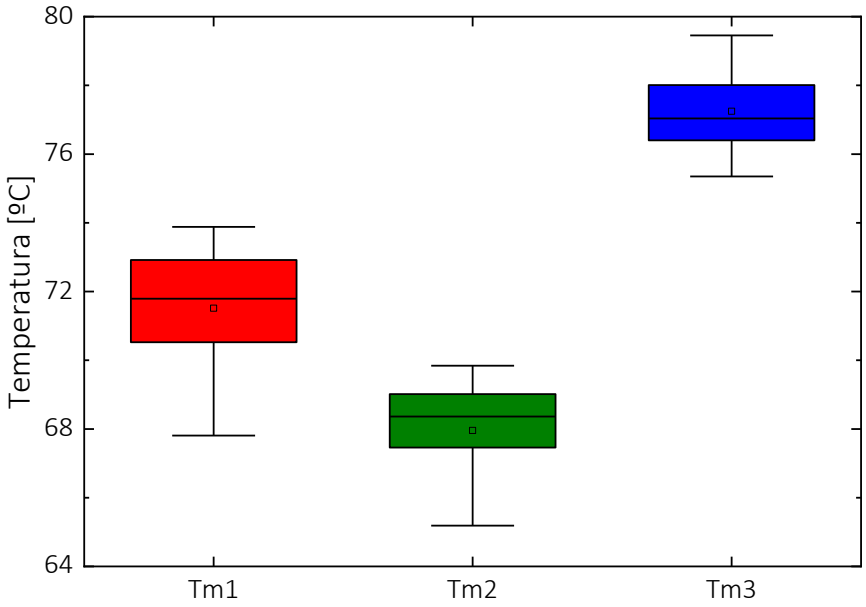
Tempo [min]	T_{m1} [ºC]	T_{m2} [ºC]	T_{m3} [ºC]	Potência [W]
0	20,1	20,1	20,1	0
10	21,2	21,4	21,6	0
20	36,8	41,1	60,1	900
30	64,9	57,7	73,0	898
40	67,9	64,9	75,7	892
50	72,8	68,9	78,7	894
60	73,6	69,8	78,9	900
70	71,6	67,9	76,4	896

Fonte: Autoria própria (2024).

O padrão senoidal indica que a dissipação de potência varia ciclicamente ao longo do tempo, na qual a variação está associada à natureza periódica de sua operação, sendo frequentemente observado em sistemas que passam por ciclos de atividade e repouso, ou cuja carga varia periodicamente (Martinez-Velasco, 2015).

Considerando o estado de regime *quasi* permanente para o intervalo de tempo de 40 minutos até 75 minutos, foi possível elaborar o gráfico do tipo *boxplot*, conforme apresentado na Figura 6, alinhado com o objetivo de analisar a distribuição de temperaturas em diferentes partes do aquecedor. Foram obtidos os valores de aproximadamente 80ºC e 64ºC, para o 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).

Por fim, ao calcular o gasto energético para acionar o aquecedor de parede operando à 70°C, foi obtido um consumo de 758Wh (aproximadamente 0,76kWh). Esse resultado quantifica o uso de energia pelo dispositivo durante o período analisado, fornecendo uma métrica tangível para avaliar sua eficiência e impacto no consumo geral de energia.

4. CONCLUSÕES

Nesta investigação experimental, foi executado um estudo do desempenho térmico de um aquecedor de parede tipo radiador a óleo, operando à 70ºC. Os resultados experimentais obtidos possuem boa concordância com os dados encontrados na literatura, confirmando o comportamento esperado para o dispositivo em estudo. Foi constatado que o aumento da eficiência térmica é uma estratégia fundamental para promover a sustentabilidade energética. Esse estudo reforça resultados previamente documentados na literatura sobre o tema, podendo servir de base para pesquisas futuras relacionadas à essa importante temática.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos são prestados à CAPES por bolsas de estudos, ao CNPq por bolsa de produtividade em pesquisa, à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PROPPG) da UTFPR, ao Programa de Pós-Graduação *Multicampi* em Engenharia Mecânica (PPGEM-CP/PG) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e Materiais (PPGEM-CT) da UTFPR.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis por este trabalho.

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.