

Simulação de um Sistema de Aquecimento Sustentável para Refeitórios Institucionais

Laila Santos-de Jesus¹, Tailane Carmo-Silva², Joabe Souza-Silva³, Marcio Andrade-Rocha⁴
Matheus Santos-Carvalho⁵, Rita de Cassia Souza- De Queiroz⁶

¹ Departamento de ensino , Instituto Federal da Bahia-Campus Jequié, Brasil. lailasantos719@gmail.com

² Departamento de ensino , Instituto Federal da Bahia-Campus Jequié, Brasil. Tailane.th@gmail.com

³ Departamento de ensino , Instituto Federal da Bahia-Campus Jequié, Brasil. joabesouza10@gmail.com

⁴ Departamento de ensino , Instituto Federal da Bahia-Campus Jequié, Brasil. marcioandrade@ifba.edu.br

⁵ Departamento de ensino , Instituto Federal da Bahia-Campus Jequié, Brasil. rita.queiroz@ifba.edu.br

⁶ Departamento de ensino , Instituto Federal da Bahia-Campus Jequié, Brasil. matheus_carvalho192@outlook.com

Resumo

Este estudo teve como objetivo desenvolver um sistema de pré-aquecimento para marmiteiros, utilizando a energia térmica dissipada pelas condensadoras de geladeiras, visando reduzir o consumo energético em refeitórios institucionais. Utilizando o software SolidWorks 2022 para simulação, foi possível modelar o sistema e analisar sua eficiência. Os resultados indicaram que o sistema conseguiu elevar a temperatura do fluido na tubulação para 32,95°C, representando um ganho de aproximadamente 8°C em relação à temperatura ambiente inicial de 25°C. Esse pré-aquecimento reduz a carga sobre o sistema de aquecimento principal, permitindo alcançar a temperatura ideal de 60°C a 70°C com menor gasto de energia. Quando duas geladeiras são utilizadas, o ganho térmico chega a 16°C, tornando o processo ainda mais eficiente e sustentável. Assim, o estudo atingiu plenamente seus objetivos, demonstrando que a estratégia de reaproveitamento de energia térmica é viável e eficaz, oferecendo uma solução prática e sustentável para otimizar o consumo de energia em refeitórios institucionais. Os resultados reforçam a importância de inovações tecnológicas no desenvolvimento de processos mais ecológicos e eficientes, contribuindo para a sustentabilidade e a eficiência energética no ambiente institucional.

Palavras-chave: Reaproveitamento de energia; Sistema de pré-aquecimento; Eficiência térmica.

Abstract

This study aimed to develop a preheating system for food warmers by utilizing the thermal energy dissipated by refrigerator condensers, with the goal of reducing energy consumption in institutional cafeterias. Using SolidWorks 2022 software for simulation, it was possible to model the system and analyze its efficiency. The results indicated that the system was able to raise the fluid temperature in the tubing to 32.95°C, representing a gain of approximately 8°C compared to the initial ambient temperature of 25°C. This preheating reduces the load on the main heating system, allowing it to reach the ideal temperature of 60°C to 70°C with less energy consumption. When two refrigerators are used, the thermal gain reaches 16°C, making the process even more efficient and sustainable. Thus, the study fully achieved its objectives, demonstrating that the strategy of reusing thermal energy is viable and effective, offering a practical and sustainable solution to optimize energy consumption in institutional cafeterias. The results underscore the importance of technological innovations in developing more ecological and efficient processes, contributing to sustainability and energy efficiency in institutional settings.

Keywords: Energy reuse; Preheating system; Thermal efficiency.

1. Introdução

O presente estudo justifica-se pela crescente necessidade de soluções sustentáveis para o aquecimento de refeitórios institucionais,

especialmente em relação à redução do consumo energético e ao aumento da eficiência nos processos. O objetivo principal deste trabalho é desenvolver um sistema de pré-aquecimento para marmiteiros que utilize a energia térmica dissipada pelas condensadoras

de geladeiras, promovendo economia de energia e maior eficiência no aquecimento.

Especificamente, o estudo busca modelar e simular o sistema utilizando o software SolidWorks, permitindo a experimentação de diferentes materiais e dimensões para otimizar o design sem incorrer em custos adicionais. Além disso, o trabalho visa analisar a eficácia da energia térmica proveniente das condensadoras para pré-aquecer os marmiteiros de forma eficaz, contribuindo para a redução do consumo de energia e dos danos ambientais.

Segundo Arongaus (1996), a maior parte da energia em processos termoelétricos é perdida como calor dissipado no ambiente. Inspirado por essa observação, o estudo explora a viabilidade de aplicar os princípios da cogeração ao reaproveitar esse calor residual para pré-aquecer marmiteiros. Essa abordagem oferece uma solução inovadora e eficiente para refeitórios institucionais, propondo não apenas uma alternativa sustentável, mas também promovendo a eficiência energética e a sustentabilidade no contexto institucional. Ao integrar a cogeração no processo, o trabalho visa maximizar o uso de energia disponível, minimizando desperdícios e contribuindo para um ambiente mais ecológico.

2. Materias e Métodos

feita de Cu-DHP, uma liga de cobre conhecida por sua excelente condução térmica, garantindo eficiência na transferência de calor. Após ceder calor no marmiteiro, a água retorna ao sistema, mantendo um processo contínuo de renovação. A figura 1 apresenta o esquema do ciclo da água.

O marmiteiro, sendo elétrico, possui uma resistência na parte inferior para aquecer a água. Esse processo permite analisar a eficiência energética do sistema, avaliando se o calor fornecido pelo condensador da geladeira é suficiente para pré-aquecer o marmiteiro e, assim, fornecer economia de energia.

O método utilizado foi o de Volumes Finitos (FVM), uma abordagem numérica introduzida na década de 1970 por McDonald, MacCormack e Paullay. Este método se tornou amplamente aceito e utilizado em diversas áreas da mecânica dos fluidos devido à sua robustez e precisão na resolução de equações diferenciais parciais que governam o comportamento de fluidos. O FVM é particularmente valorizado em aplicações que envolvem escoamentos complexos, pois permite a conservação exata de grandezas físicas, como massa, momento e energia, ao dividir o domínio de solução em pequenos volumes finitos, nos quais as equações de conservação são aplicadas diretamente.

Para a simulação do fluxo de calor através da tubulação de cobre, utilizou-se o software SOLIDWORKS Flow

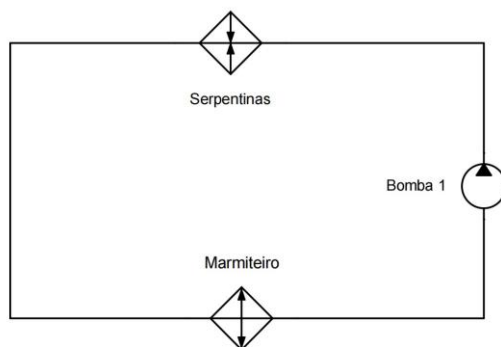


Figura 1. Esquema do ciclo da água. Fonte: elaboração própria.

Foi desenvolvida uma simulação de um marmiteiro escolar que incorpora um sistema composto por dois trocadores de calor: as serpentinas da geladeira e o próprio marmiteiro. O sistema inclui uma bomba para gerar fluxo contínuo do fluido. A água, escolhida pela sua fácil acessibilidade e possibilidade de reposição, é adicionada ao sistema através de uma piscina onde as bacias com alimentos são colocadas.

No ciclo, a água passa pelas serpentinas, onde absorve o calor, e segue até o marmiteiro, onde transfere calor para os alimentos. A tubulação utilizada no sistema é

Simulation 2022. A liga de cobre escolhida foi a Cu-DHP, designada numericamente como CW024A, composta por no mínimo 99,9% de cobre e com fósforo (P) variando entre 0,015% e 0,040%. As configurações do computador simulado incluíram um processador 12th Gen Intel(R) Core(TM) i7-1255U 1.70 GHz, 16 GB de RAM (15,7 GB utilizáveis), sistema operacional Windows 11 Home Single Language, versão 23H2, 64 bits, permitindo uma simulação eficiente.

Alguns elementos foram removidos da montagem, como ilustrado na Fig. 2 do anexo, com o objetivo de

reduzir o consumo computacional e, assim, facilitar o processamento da simulação.

25°C, e a gravidade foi selecionada atuando no eixo Z com o valor nominal de 9.8m/s². O tempo escolhido

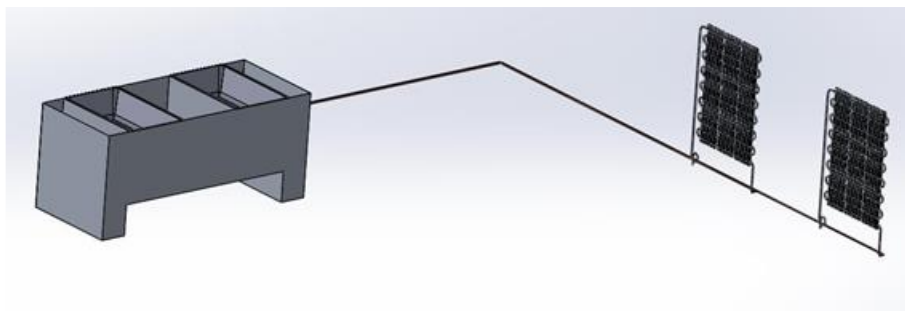


Figura 2. Elementos Suprimidos. Fonte: elaboração própria.

Na aba Suplementos do *SOLIDWORKS* 2022, foi escolhida a opção de ativação do *SOLIDWORKS Flow Simulation* 2022, como mostrado na fig.3 no anexo.

Na página do *SOLIDWORKS Flow Simulation* 2022, selecionou-se a opção "Tools" e então "Create Lids" para delimitar as entradas e saídas da tubulação. Após a criação das tampas, utilizou-se a ferramenta "Wizard" para escolha dos parâmetros da simulação.

Ao selecionar a ferramenta, uma janela pop-up foi aberta para a nomeação do projeto e, ao clicar no botão "next", avançou-se para os estágios seguintes de escolha de parâmetros.

Na simulação atual, escolheu-se a opção destacada na fig. 4. Em seguida, definiu-se o tipo de análise (interna ou externa) e os parâmetros físicos a serem aplicados na simulação.

para a duração da simulação foi de 90 segundos.

Na fig. 5 no anexo, observa-se a escolha dos fluidos a serem utilizados na simulação. Utilizando a biblioteca nativa do *SOLIDWORKS* 2022, selecionou-se a água, considerando o fluxo como laminar e turbulento. A liga de cobre escolhida foi a Cu-DHP, devido às suas propriedades condutivas e alta resistência à corrosão em contato com água.

As configurações da parede da tubulação foram mantidas na configuração padrão, uma vez que não foram o foco principal do presente estudo.

Os parâmetros iniciais para a simulação foram definidos como segue: a temperatura inicial do fluido de trabalho foi estabelecida em 35°C, valor estimado da troca de calor do fluido com a condensadora; a velocidade do fluido foi fixada em 10 metros por

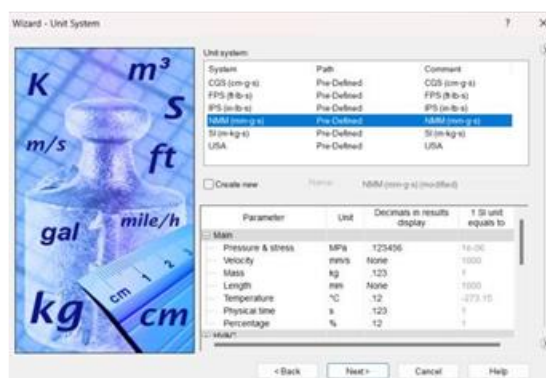


Figura 3. Elementos Suprimidos. Fonte: elaboração própria.

A escolha da radiação, essencial para o sucesso da simulação de perdas térmicas do fluido para o ambiente, foi realizada no modelo de transferência discreta. A temperatura do ambiente foi fixada em

segundo; e a temperatura inicial da tubulação foi mantida a mesma do ambiente. Com essas configurações, finalizou-se o *Wizard*.

O ambiente de simulação foi então criado, permitindo iniciar o processo. Após verificar e delimitar o ambiente computacional, configuraram-se os subdomínios do fluido, confirmando os parâmetros estabelecidos pelo Wizard.

do fluido, coeficiente de transferência de calor, fluxo de calor e temperatura do sólido.

Finalmente, configurou-se a malha, que vai de 1 (menos preciso) até 7 (maior precisão possível),

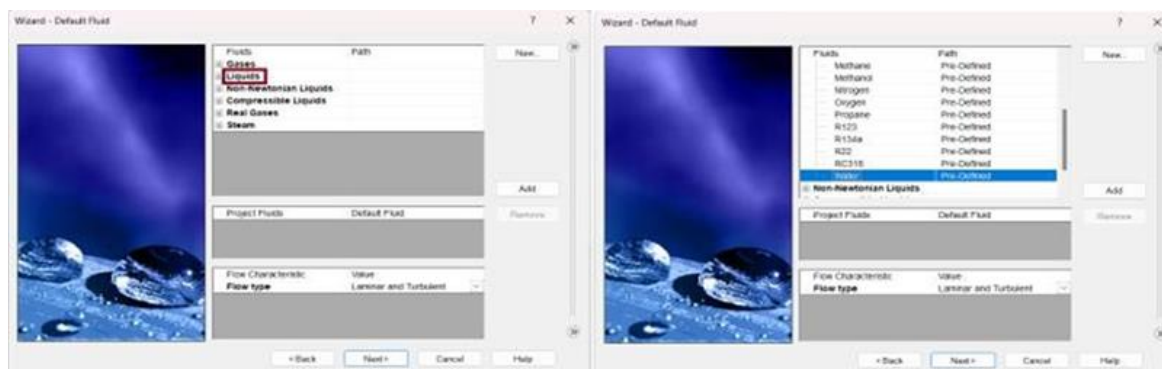


Figura 4. Parâmetros de Definição. Fonte: elaboração própria.

Em seguida, finalizaram-se as configurações dos materiais sólidos, destacando a opção de transparência da radiação, definida como opaca.

escolhendo-se a opção 5, devido ao seu bom custo-benefício entre precisão de análise e capacidade de processamento da máquina utilizada.

A simulação foi então finalizada, aguardando-se os

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
GG Average Heat Flux 11	-1.56873 W/m ²	Achieved (IT = 40)	11.467 W/m ²	-1.56662 W/m ²
GG Average Heat Transfer Coefficient 8	6500.98 W/m ² /K	Achieved (IT = 100)	261.183 W/m ² /K	6560.58 W/m ² /K
GG Average Temperature (Fluid) 2	34.9918 °C	107%	2.89295e-05 °C	34.992 °C
GG Average Temperature (Solid) 15	25.3534 °C	Achieved (IT = 47)	0.0103823 °C	25.3531 °C
GG Heat Transfer Rate 13	-10.2268 W	Achieved (IT = 40)	74.7549 W	-10.213 W
GG Maximum Heat Flux 12	10.1291 W/m ²	Achieved (IT = 66)	2.68714 W/m ²	10.1377 W/m ²
GG Maximum Heat Transfer Coefficient 9	34863 W/m ² /K	Achieved (IT = 40)	13700.9 W/m ² /K	34863.9 W/m ² /K
GG Maximum Temperature (Fluid) 3	35.0006 °C	Achieved (IT = 77)	2.88543e-05 °C	35.0005 °C
GG Maximum Temperature (Solid) 16	34.9957 °C	Achieved (IT = 40)	0.0352693 °C	34.9957 °C
GG Minimum Heat Flux 10	-37649.8 W/m ²	Achieved (IT = 40)	5633.15 W/m ²	-37898.7 W/m ²
GG Minimum Heat Transfer Coefficient 7	236.861 W/m ² /K	Achieved (IT = 60)	99.2088 W/m ² /K	240.646 W/m ² /K
GG Minimum Temperature (Fluid) 1	32.9545 °C	Achieved (IT = 40)	0.191078 °C	32.9447 °C
GG Minimum Temperature (Solid) 14	25.1004 °C	Achieved (IT = 65)	0.00672196 °C	25.1003 °C
SG Environment Pressure 2 Temperature (Fluid) Bulk Average	34.9694 °C	125%	0.00026855 °C	34.97 °C

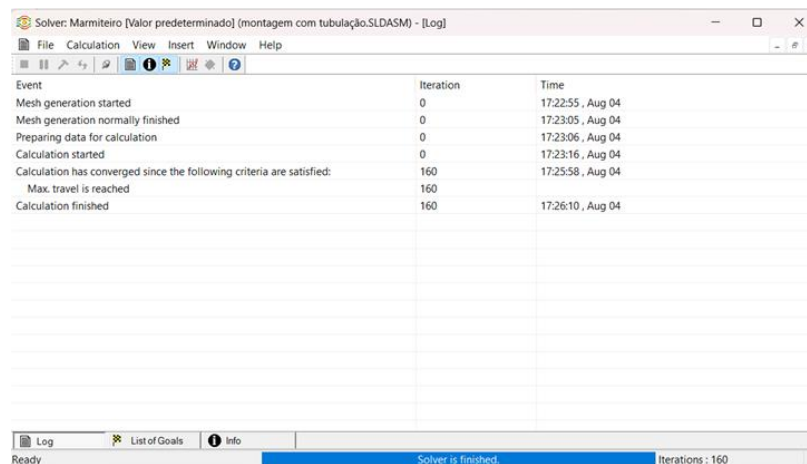
Figura 5. Escolha dos fluidos a serem utilizados na simulação. Fonte: elaboração própria..

Definiram-se as propriedades das condições de barreira: primeiramente, escolheu-se a face interna do tampão, onde a velocidade de entrada do fluido foi simulada a 10 metros por segundo, com a temperatura do fluido em 35°C. Na outra extremidade da tubulação, selecionou-se a face interna do tampão, aplicando-se a condição de pressão do ambiente externo, mantendo todas as outras condições iguais às da barreira anterior. Os objetivos da simulação foram então definidos: na opção de objetivos gerais, selecionaram-se temperatura

cálculos e apresentando os resultados mostrados na Imagem 6 no anexo. Observou-se que a temperatura mínima do fluido na tubulação ficou em torno de 32.95°C, comparada com a temperatura de entrada de 35°C.

2.1. Resultados

Os resultados da simulação indicaram que a temperatura mínima do fluido na tubulação ficou em torno de 32.95°C, comparada com a temperatura de



Event	Iteration	Time
Mesh generation started	0	17:22:55, Aug 04
Mesh generation normally finished	0	17:23:05, Aug 04
Preparing data for calculation	0	17:23:06, Aug 04
Calculation started	0	17:23:16, Aug 04
Calculation has converged since the following criteria are satisfied:	160	17:25:58, Aug 04
Max. travel is reached	160	
Calculation finished	160	17:26:10, Aug 04

Figura 6. Figuras ou tabelas a dois colunas inseridas em quadro de texto. Fonte: elaboração própria.

entrada de 35°C. Na imagem 6, são mostrados os tempos de simulação. Da criação da malha até a finalização foram necessários 10 segundos. Após 1 segundo para a preparação dos dados para cálculos, foram necessários 10 segundos para início dos cálculos da malha. 2 minutos e 44 segundos foram usados para a conversão dos cálculos e o número de iterações necessárias (160) ser atingido, finalizando os cálculos. Na imagem 35, são mostradas as células geradas pela escolha de malha (5 de 7). Foram geradas 875.000 células, sendo 868.462 células sólidas e 6.518 representando os fluidos.

Embora a temperatura de 32.95°C não seja suficiente para o aquecimento final dos alimentos, ela pode ser útil para o pré-aquecimento do marmiteiro. O objetivo do pré-aquecimento é elevar a temperatura inicial dos alimentos ou do ambiente interno do marmiteiro antes de alcançar a temperatura ideal de aquecimento, que geralmente está entre 60°C e 70°C.

O marmiteiro inicialmente está à temperatura ambiente (cerca de 25°C) que consiste na temperatura ambiente de jequié (INMET, 2024), elevar sua temperatura para 32.95°C representa um ganho de aproximadamente 8°C. Esse pré-aquecimento reduziria a energia gasta necessários para alcançar a temperatura final desejada. Isso significa que o sistema de aquecimento principal do marmiteiro, como a resistência elétrica, terá menos trabalho para elevar a temperatura de 32.95°C até a faixa de 60°C a 70°C.

O uso da energia proveniente da geladeira proporciona um aumento de 8 graus na temperatura, o que contribui para a economia de energia. Como estamos lidando com duas geladeiras, esse ganho é duplicado, resultando em um aumento total de 16 graus. Isso facilita o pré-aquecimento do marmiteiro, tornando o processo mais eficiente.

2.1.1. Conclusões

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que o sistema de pré-aquecimento para marmiteiros, utilizando a energia térmica dissipada pelas condensadoras de geladeiras, alcançou plenamente o objetivo proposto. A simulação indicou que conseguimos elevar a temperatura do fluido na tubulação para 32,95°C, o que representa um ganho significativo de aproximadamente 8°C em relação à temperatura ambiente inicial de 25°C. Esse pré-aquecimento reduz a carga sobre o sistema de aquecimento principal do marmiteiro, facilitando o processo de aquecimento até a temperatura ideal de 60°C a 70°C, com menor consumo de energia.

Ao considerar a utilização de duas geladeiras, o ganho térmico totaliza 16°C, tornando o processo ainda mais eficiente e sustentável. Esses resultados confirmam que a estratégia de reaproveitamento de energia térmica é eficaz e atende à necessidade de soluções energéticas mais sustentáveis em refeitórios institucionais. Assim, o estudo não apenas atingiu os objetivos estabelecidos, mas também reforça a viabilidade de inovações tecnológicas que promovam a eficiência energética e a sustentabilidade.

3. Referências

- [1] ANDRADE, Damiana Tomeira. Análise energética de um sistema de cogeração aplicado à indústria de rodas de liga leve. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.
- [2] MOISÉS, Marcos Aurélio Martins. Benefícios da cogeração a gás natural para o Estado de São Paulo. 2008.
- [3] CASTRO, Rui MG. Introdução à cogeração. DEEC/IST, 2009.
- [4] WYLEN, Gordon van et al. Fundamentos de termodinâmica. 2000. Claro, aqui

estão as referências numeradas conforme as normas da ABNT: [5] KERN, D. Q. **Process heat transfer**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1999. [6] CENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. **Heat and mass transfer: fundamentals & applications**. 4. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2012. [7] INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. **Fundamentals of heat and mass transfer**. 5. ed. New York: John Wiley & Sons, 1998. [8] VAN WYLEN, G. J.; SONNTAG, R. E.; BORGNACKE, C. **Fundamentals of classical thermodynamics**. 6. ed. New York: John Wiley & Sons, 2000.

[9] CASTRO, N. J. **Cogeração de energia**. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2009.

[10] MOISÉS, L. C. **Cogeração de energia: eficiência e sustentabilidade**. São Paulo: Publicação Técnica, 2008.

[11] ANDRADE, J. P. **Eficiência energética em sistemas de cogeração**. São Paulo: Editora Blucher, 2017.

[12] TIMMERHAUS, K. D.; REED, R. P. **Cryogenic process engineering**. 2. ed. New York: Springer, 2007.

[13] SHAH, R. K.; SEKULIC, D. P. **Fundamentals of heat exchanger design**. New York: John Wiley & Sons, 2003.

[14] BRONMETAL. ***Copper tubes for heat exchangers***. Disponível em: <<https://www.bronmetal.com/en/copper/coppertubes-for-heat-exchangers/>>. Acesso em: 14 jul. 2024.

[2] Escribir y publicar un artículo científico original. Combino Pharm, Barcelona/Madrid, España: Mayo S.A., 2005, pp. 3-29 [PDF]. Disponible: <http://goo.gl/cpVqX3>

[3] Dpto. de Filosofía, Univ. de Granada (2005). Cómo elaborar un artículo científico [en línea]. Disponible en: <http://www.ugr.es/~filosofia/recursos/innovacion/convo-2005/trabajo-escrito/como-elaborar-un-articulo-cientifico.htm>

[4] E. Henríquez, M.I. Zepeda. “Elaboración de un artículo científico de investigación”. Ciencia y Enfermería, vol. X, n.º 1, pp. 17-21, 2004 [en línea]. Disponible en: <http://www.scielo.cl/pdf/cienf/v10n1/art03.pdf>