



DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO PARA MONITORAMENTO EM TEMPO REAL DE TEMPERATURA APLICADO EM ENSAIOS EXPERIMENTAIS COM TROCADORES DE CALOR

DOI: 10.37702/2175-957X.COBIENGE.2025.6393

Autores: NICOLE FAVERO SIMÕES, GUILHERME MORAES MOREIRA, LAOS ALEXANDRE HIRANO, MARCOS VINÍCIUS RODRIGUES

Resumo: Trocadores de calor são dispositivos essenciais na engenharia, responsáveis pela transferência de energia térmica entre fluidos em diferentes temperaturas, com aplicações diversas em indústrias e sistemas de aquecimento/refrigeração. A compreensão de seus princípios operacionais e o domínio de sua análise de desempenho são fundamentais para a formação de engenheiros (Çengel; Ghajha, 2011). No entanto, a prática experimental desses conceitos em laboratórios acadêmicos pode ser desafiadora, frequentemente limitada por equipamentos que não oferecem monitoramento em tempo real ou análise de dados eficiente, impactando a clareza didática. Diante dessa lacuna e da crescente demanda por aprimoramento de experimentos em laboratórios de engenharia na Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL), este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um dispositivo automatizado para o monitoramento em tempo real da temperatura em quatro posições distintas de um trocador de calor. O dispositivo foi pr

Palavras-chave: Trocador de calor, arduino

15 a 18 DE SETEMBRO DE 2025
CAMPINAS - SP

DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO PARA MONITORAMENTO EM TEMPO REAL DE TEMPERATURA APLICADO EM ENSAIOS EXPERIMENTAIS COM TROCADORES DE CALOR

1 INTRODUÇÃO

Trocadores de calor são dispositivos essenciais na engenharia, responsáveis pela transferência de energia térmica entre fluidos a diferentes temperaturas, com ampla aplicação em sistemas industriais e de aquecimento/refrigeração. A compreensão de seus princípios operacionais e a análise de desempenho são fundamentais para a formação de engenheiros (Çengel; Ghajar, 2011). No entanto, a prática experimental desses conceitos em ambientes acadêmicos ainda enfrenta limitações, especialmente pela ausência de monitoramento em tempo real e de coleta eficiente de dados, o que pode dificultar o aprendizado.

Visando suprir essa lacuna nos laboratórios da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL), este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um dispositivo automatizado para monitoramento online de temperatura ao longo do tempo, aplicado em ensaios experimentais com trocadores de calor. O sistema utiliza uma plataforma Arduino integrada a quatro termopares tipo K, com registro de dados em um display LCD e envio simultâneo para uma planilha eletrônica. O dispositivo foi calibrado indiretamente com um termômetro de referência e acoplado a um trocador de calor de tubo duplo. Os ensaios foram realizados nos regimes de escoamento paralelo e contracorrente, permitindo a determinação da média logarítmica de diferença de temperatura (MLDT), da taxa de transferência de calor (Q) e do coeficiente global de transferência de calor (U), além da comparação da eficiência entre os dois regimes.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Trocador de Calor

Trocadores de calor são dispositivos utilizados para promover a transferência de calor entre dois fluidos em diferentes temperaturas, sem que haja contato direto entre eles (Kakaç; Liu, 2002). O modelo de duplo tubo é um dos mais simples e consiste em um tubo interno por onde escoa um fluido, inserido concentricamente em um tubo externo (Kreith, 1977). A eficiência térmica do equipamento está relacionada à diferença de temperatura entre os fluidos, o tipo de escoamento (paralelo ou contracorrente) e as propriedades dos materiais (Delatore, 2011).

Trocador duplo tubo

O modelo mais simples de trocador de calor é o chamado trocador de tubo duplo, que consiste essencialmente em um tubo que é montado concentricamente no interior de outro tubo de maior diâmetro (Saunders, 1988). Um dos fluidos escoa pelo tubo de diâmetro menor e o outro escoa pelo espaço anular entre os dois tubos, não há mistura entre os dois fluidos, de modo que a transferência de calor ocorre através da parede do tubo interno (Kreith, 1977).

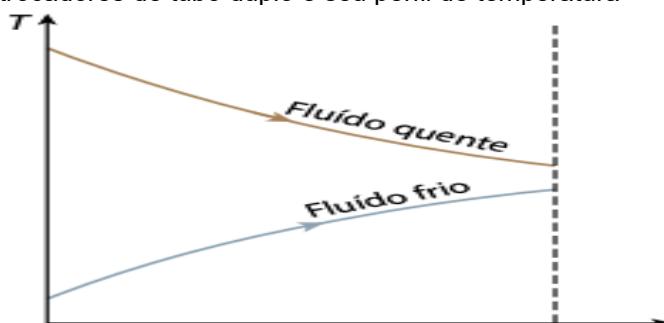
Este é talvez o mais simples de todos os tipos de trocador de calor pela facilidade de construção, manutenção envolvida e ampliação da área de troca térmica. Geralmente, é usado em aplicações de pequenas capacidades.

15 a 18 DE SETEMBRO DE 2025
CAMPINAS - SP

Neste modelo, duas formas de escoamento são possíveis: o escoamento paralelo, em que ambos os fluidos entram no trocador pela mesma extremidade ou o escoamento contracorrente, em que os fluidos entram no trocador por extremidades opostas entre si. Importante ressaltar que o desempenho e o funcionamento do trocador serão diferentes para os dois tipos de escoamento.

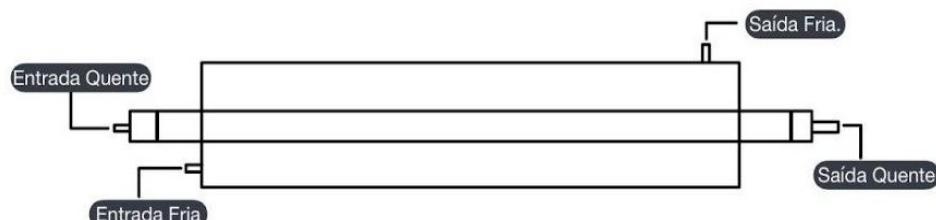
No escoamento paralelo, as temperaturas dos fluidos tendem a se igualar progressivamente, o que reduz de forma significativa a diferença térmica ao longo do trocador. No escoamento contracorrente, as variações de temperatura entre os fluidos são menores, permitindo que o fluido frio atinja, inclusive, uma temperatura de saída superior à do fluido quente. As Figuras 1 a 4 representam de forma simplificada estas duas situações. Nos diagramas de temperatura, repare que a seta nas curvas serve para indicar a direção dos escoamentos.

Figura 1 - Arranjos de escoamento Paralelo em trocadores de tubo duplo e seu perfil de temperatura



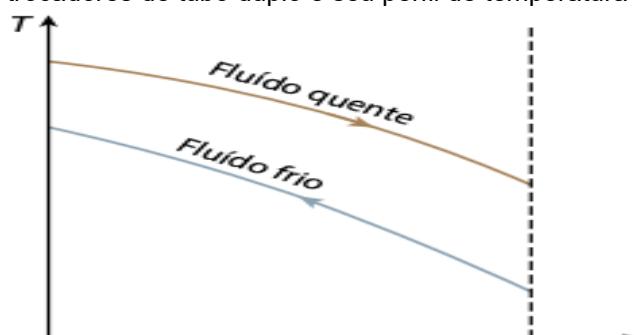
Fonte: Çengel e Cimbala, 2015, p. 630.

Figura 2 - Ilustração Trocador de Calor tubo duplo com escoamento Paralelo.



Fonte: Autor, 2022.

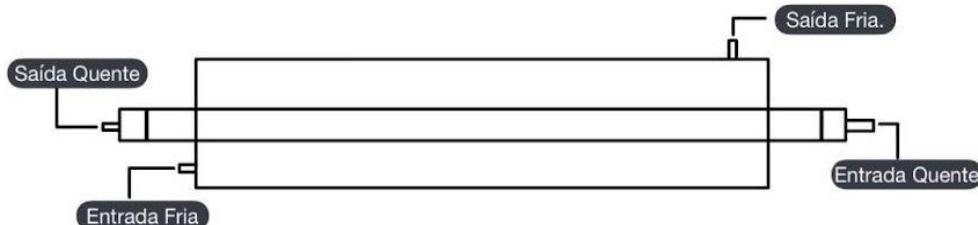
Figura 3 - Arranjos de escoamento Contracorrente em trocadores de tubo duplo e seu perfil de temperatura



Fonte: Çengel e Cimbala, 2015, p. 630.

15 a 18 DE SETEMBRO DE 2025
CAMPINAS - SP

Figura 4: Ilustração Trocador de Calor tubo duplo com escoamento contracorrente.



Fonte: Autor, 2022.

A MLDT (Média Logarítmica das Temperaturas) é uma medida que representa a diferença média efetiva de temperatura entre os fluidos ao longo do trocador. Para escoamento paralelo, temos a Equação (1):

$$MLDT = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln(\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2})} \text{ para } \Delta t_1 = T_1 - t_1 \text{ e } \Delta t_2 = T_2 - t_2 \quad (1)$$

Para escoamento contracorrente, temos a Equação (2):

$$MLDT = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln(\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2})} \text{ para } \Delta t_1 = T_1 - t_2 \text{ e } \Delta t_2 = T_2 - t_1 \quad (2)$$

T_1 : Temperatura de Entrada do fluido quente; T_2 : Temperatura de Saída do fluido quente; t_1 : Temperatura de Entrada do fluido frio; t_2 : Temperatura de Saída do fluido frio.

2.2 Termopares tipo K

Termopares tipo K são sensores formados por dois metais distintos (Cromel e Alumel) que geram uma diferença de potencial quando expostos a temperaturas diferentes, segundo o efeito Seebeck (Seebeck, 1821). A escolha do modelo tipo K do termopar foi devido ao seu alto desempenho associado a seu baixo custo, como mostra o quadro 1 e pelo tamanho reduzido da ponta onde se faz a aferição da temperatura. Este tamanho reduzido é estratégico para evitar perdas de carga do fluido dentro das tubulações do trocador de calor. O alcance (range) do termopar utilizado varia linearmente entre -200 °C a 1260°C de acordo com informações do fornecedor (Alves et al., 2016). O custo total dos instrumentos foi de R\$512,70.

Quadro 1 - Lista dos materiais do Dispositivo Termopar e seus valores cotados no dia 27 de maio de 2022.

Instrumentos	Valor médio (R\$)
Arduino UNO c/ Cabo	99,90
Cabo USB 2.0 A/B para Arduino Uno	15,90
ProtoShield	29,90
Display LCD 16x2	42,90
Modulo I2C	12,90
Quatro termopares tipo K	29,90 por unidade
Quatro módulos Max6675	35 por unidade
Cabos Jumpers	12,90 / 40 unidades
Total	512,70

Fonte: Autor, 2022.

15 a 18 DE SETEMBRO DE 2025
CAMPINAS - SP

2.3 Parâmetros de transferência de calor

Para calcular a taxa de transferência de calor (Q) foi necessário relacionar a vazão volumétrica e a densidade para obter a vazão mássica, para isto utilizamos a Equação (3), onde m' é a vazão mássica, ρ é a densidade da água (988 kgm⁻³) e v a vazão volumétrica.

$$\dot{m}' = \rho \times v \quad (3)$$

A taxa de transferência de calor é obtida pela Equação (4):

$$Q = m' (C_p \cdot \Delta T) \quad (4)$$

O calor específico C_p utilizado na expressão é referente ao calor específico na temperatura resultante da média da entrada e saída do fluido quente. ΔT é variação de temperatura em graus celsius.

O coeficiente global de transferência de calor é determinado com base na Equação (5):

$$U = \frac{Q}{A \cdot \Delta T_{MLDT}} \quad (5)$$

Onde A é a área externa do tubo interno de latão e ΔT a média logarítmica.

3 MÁTERIAIS E METODOS

3.1 Módulo de monitoramento de temperatura

O dispositivo foi montado com quatro termopares tipo K conectados a módulos MAX6675, que realizam a amplificação e conversão do sinal analógico para digital (Maxim Integrated, 2025). Esses módulos foram conectados a um Arduino Uno, que coleta e transmite os dados via porta USB para uma planilha eletrônica em tempo real. Também foi conectado a um display LCD 16x2 via módulo I2C. A disposição do aparelho é retratada nas figuras 5 a 7.

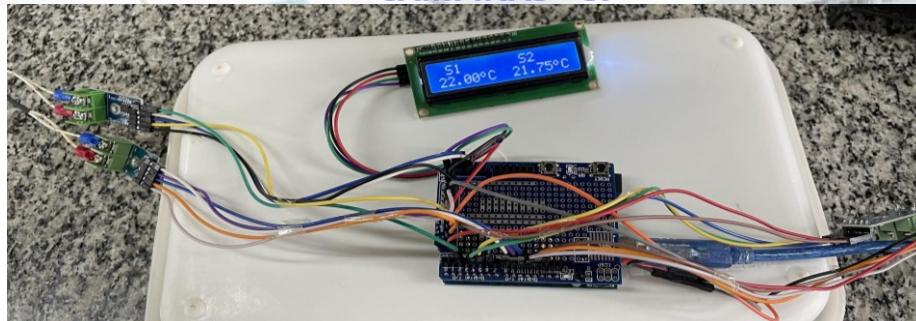
A interface com a planilha foi desenvolvida com VBA, permitindo a coleta e organização automática dos dados. O sistema limita a 200 linhas por sessão, reiniciando a contagem após esse limite.

Figura 5 - Dispositivo termopar inserido na entrada do trocador



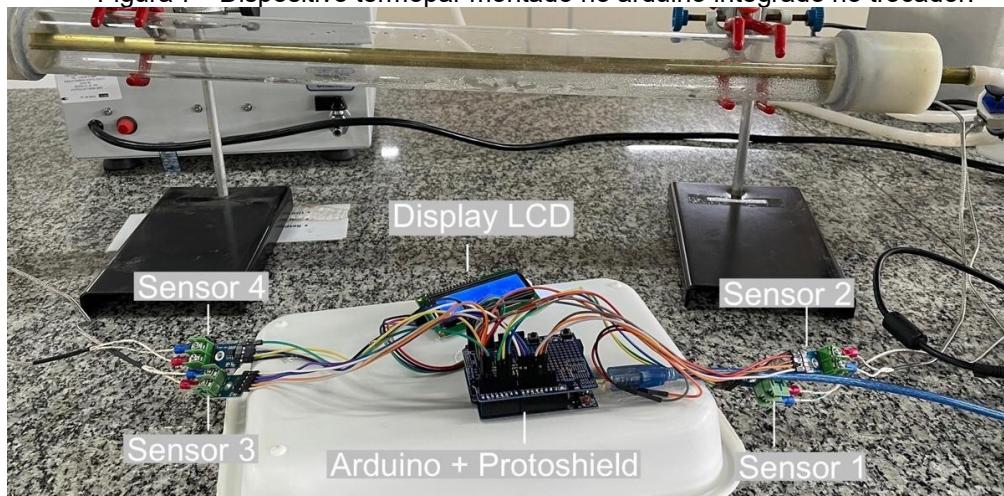
Fonte: Autor, 2022.

Figura 6 - Dispositivo termopar montado no arduino



Fonte: Autor, 2022.

Figura 7 - Dispositivo termopar montado no arduino integrado no trocador.

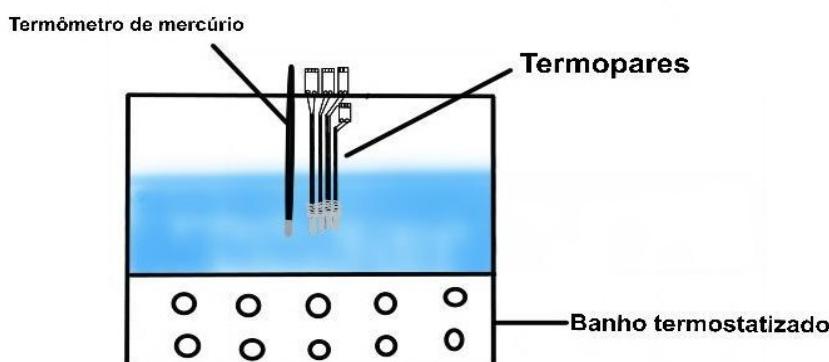


Fonte: Autor, 2022.

3.2 Calibração do módulo de monitoramento de temperatura

Cada termopar foi calibrado em relação a um termômetro de referência com resolução de 0,5 °C e posicionados como mostra a Figura 8. Foram realizadas medições em banho sorológico em temperaturas entre 1 °C e 95 °C. A calibração considerou três repetições por ponto experimental e foram aplicadas regressões lineares para obtenção de fatores de correção individuais para cada sensor.

Figura 8: Posicionamento dos sensores e do termômetro padrão durante a calibração



Fonte: Autor, 2022.

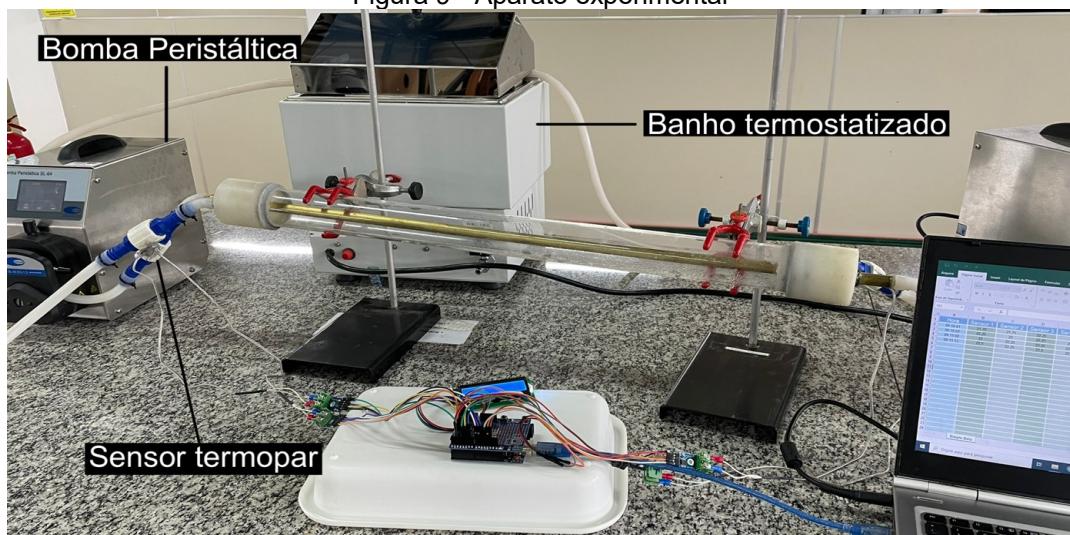
3.3 Trocador de Calor

O trocador de calor de duplo tubo foi confeccionado com material de vidro para o tubo externo, em virtude da sua baixa condutividade térmica, assim diminuindo a troca térmica do tubo de vidro com o ambiente. Para o tubo interno, utilizou-se o latão, visto que é um material de alta condutividade, baixa resistência térmica e possui bom resultado de troca térmica. O tubo interno de latão (1,28 cm de diâmetro) e externo de vidro (4,48 cm de diâmetro), o comprimento do trocador é de 73,00 cm, resultando em uma área igual a $2,93 \times 10^{-2} \text{ cm}^2$ conforme sugerido por Çengel e Cimbala (2015), por apresentarem boas propriedades térmicas para a aplicação.

Foram utilizadas bombas peristálticas (SL-64 da marca SOLAB) para controle de vazão dos fluidos e um banho termostatizado (Banho Sorológico SL-151 marca SOLA) para aquecer o fluido quente, toda a montagem do aparato é retratada na Figura 9.

As medições foram realizadas com o dispositivo acoplado às quatro extremidades do trocador, permitindo o registro de dados de entrada e saída para ambas as correntes. Os experimentos foram conduzidos em três condições: 50 °C/ambiente, 70 °C/ambiente e 70 °C/7 °C.

Figura 9 - Aparato experimental



Fonte: Autor, 2022.

4 RESULTADOS

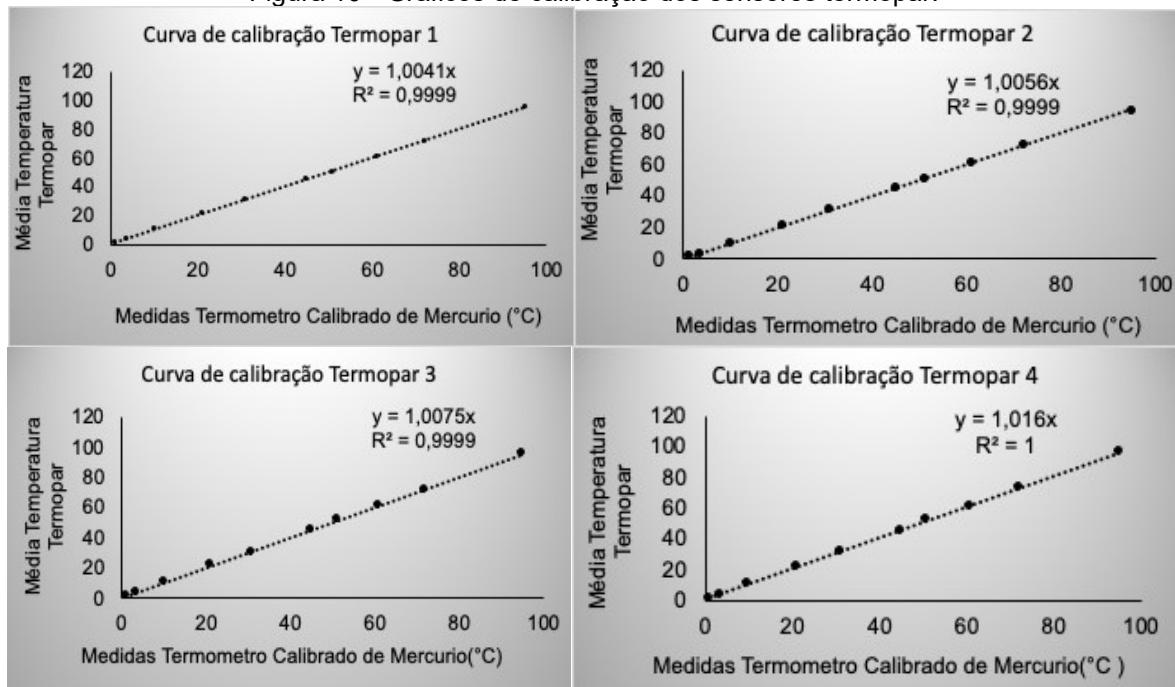
A obtenção de dados confiáveis exigiu inicialmente a calibração dos sensores termopares tipo K utilizados no dispositivo de monitoramento de temperatura. Essa etapa foi essencial para garantir a precisão nas medições realizadas ao longo dos ensaios com o trocador de calor. O termômetro de referência, com incerteza de $\pm 0,5^\circ\text{C}$, foi adotado como base para os ajustes, e os cálculos consideraram também variações estatísticas, conforme a Equação (6). As incertezas resultantes variaram entre $\pm 0,5$ e $\pm 0,7$.

As curvas de calibração apresentaram comportamento linear com R^2 próximos de 1, como mostra a Figura 10. Os fatores de correção variaram entre 1,004 e 1,016. Após aplicação dos fatores de correção, os dados foram utilizados para cálculo da MLDT, vazão mássica e coeficiente global de transferência de calor.

$$\delta^2 = \delta_{estatistica}^2 + \delta_{instrumental}^2 \quad (6)$$

15 a 18 DE SETEMBRO DE 2025
CAMPINAS - SP

Figura 10 - Gráficos de calibração dos sensores termopar.



Fonte: Autor, 2022.

Com os sensores calibrados foi iniciado a prática utilizando o Trocador de Calor tubo duplo, as aferições dos valores de temperaturas foram feitas durante 5 minutos anotando o valor em um intervalo de 30 segundos, as primeiras 10 medidas foram descartadas considerando que o trocador não estava em regime estacionário. As Tabelas (1), (2) e (3) apresentam uma comparação das temperaturas em corrente paralela e contracorrente.

Tabela 1 - Valores experimentais de temperatura a uma faixa de 50°C a temperatura ambiente, para escoamento paralelo e contracorrente.

Contracorrente (50°C-amb)	Entrada Fria	Saída Fria	Entrada Quente	Saída Quente	Paralelo (50°C-amb)	Entrada Fria	Saída Fria	Entrada Quente	Saída Quente
1	21,8	30,3	44,3	37,8	1	21,8	29,0	43,3	37,8
2	21,8	30,3	44,3	37,3	2	22,0	29,0	43,3	37,3
3	22,0	29,8	44,5	37,3	3	21,8	28,3	43,5	37,0
4	22,0	30,5	43,5	37,8	4	22,3	28,8	43,5	36,8
5	22,0	30,3	44,0	37,8	5	21,8	29,0	43,0	37,3
6	22,0	30,3	44,3	37,8	6	22,0	28,8	43,0	37,0
7	22,0	30,0	44,3	37,3	7	21,5	28,8	43,8	37,0
8	21,8	30,0	44,3	37,8	8	22,3	28,3	43,0	37,8
9	21,8	30,5	44,0	37,5	9	22,0	29,0	43,3	37,8
10	22,0	30,3	44,3	37,3	10	22,3	28,5	43,3	37,8
Média	21,9	30,2	44,2	37,5	Média	22,0	28,7	43,3	37,3
Desvio	0,1	0,2	0,3	0,2	Desvio	0,3	0,3	0,2	0,4

Fonte: Autor, 2022.

REALIZAÇÃO



15 a 18 DE SETEMBRO DE 2025
CAMPINAS - SP

ORGANIZAÇÃO



Tabela 2 - Valores experimentais de temperatura a uma faixa de 70°C a temperatura ambiente, para escoamento paralelo e contracorrente.

Contracorrente (70°C-amb)	Entrada Fria	Saída Fria	Entrada Quente	Saída Quente	Paralelo (70°C-amb)	Entrada Fria	Saída Fria	Entrada Quente	Saída Quente
1	24,5	41,3	68,8	52,3	1	22,8	37,5	65,5	49,8
2	24,8	41,0	68,8	52,0	2	22,8	37,3	65,5	49,8
3	24,0	41,5	68,5	51,5	3	23,0	37,3	65,0	50,0
4	24,3	41,8	68,8	52,3	4	22,5	37,3	65,5	50,0
5	24,8	41,0	68,8	52,5	5	22,8	37,5	66,3	49,8
6	24,3	41,5	68,8	52,0	6	23,0	37,5	65,8	49,8
7	24,0	41,3	68,8	52,3	7	22,8	38,3	65,8	49,8
8	24,5	41,5	68,8	52,3	8	23,0	37,5	65,5	49,8
9	24,8	41,5	68,5	52,3	9	23,3	37,8	65,8	49,8
10	24,8	41,5	68,7	52,5	10	23,8	37,0	65,5	49,8
Média	24,5	41,4	68,7	52,2	Média	23,0	37,5	65,6	49,8
Desvio	0,3	0,2	0,1	0,3	Desvio	0,3	0,3	0,3	0,1

Fonte: Autor, 2022.

Tabela 3 - Valores experimentais de temperatura a uma faixa de 70°C a 7°C, para escoamento paralelo e contracorrente

Contracorrente (70-7)°C	Entrada Fria	Saída Fria	Entrada Quente	Saída Quente	Paralelo (70- 7)°C	Entrada Fria	Saída Fria	Entrada Quente	Saída Quente
1	8,0	32,8	68,8	40,8	1	7,0	26,8	65,0	39,0
2	8,0	33,0	68,8	40,0	2	7,0	26,5	65,0	39,8
3	7,8	33,0	69,0	40,5	3	6,3	26,8	65,3	39,8
4	7,5	32,8	69,0	40,0	4	7,0	26,8	65,8	39,8
5	7,5	33,0	69,0	40,5	5	6,8	26,8	65,3	39,5
6	7,5	33,0	69,0	40,8	6	6,8	26,8	65,0	39,5
7	7,8	32,8	68,8	40,8	7	6,8	26,5	65,5	39,5
8	7,8	33,0	69,0	40,3	8	6,8	26,3	65,0	38,8
9	7,8	33,0	69,0	40,5	9	6,3	26,5	65,0	39,0
10	7,8	33,0	69,0	40,5	10	6,5	26,8	65,0	38,8
Média	7,7	32,9	68,9	40,5	Média	6,7	26,6	65,2	39,3
Desvio	0,2	0,1	0,1	0,3	Desvio	0,3	0,2	0,3	0,4

Fonte: Autor, 2022.

Após a calibração, o trocador de calor foi operado em contracorrente e paralelo e as temperaturas médias em graus celsius obtidas na Tabela 4 para a realização dos cálculos de transferência de calor que estão apresentados nas Tabelas 5 e 6.

REALIZAÇÃO



ORGANIZAÇÃO



REALIZAÇÃO



ORGANIZAÇÃO

15 a 18 DE SETEMBRO DE 2025
CAMPINAS - SP

Tabela 4 - Valores da média com incerteza utilizados nos cálculos.

Contracorrente	Entrada Fria	Saída Fria	Entrada Quente	Saída Quente
temp 50-amb	Media $\pm 0,5$ 21,9	Media $\pm 0,6$ 30,4	Media $\pm 0,6$ 44,9	Media $\pm 0,6$ 37,7
temp 70-amb	Media $\pm 0,6$ 24,6	Media $\pm 0,6$ 41,6	Media $\pm 0,6$ 69,8	Media $\pm 0,5$ 52,4
temp 70-4	Media $\pm 0,5$ 7,8	Media $\pm 0,5$ 33,1	Media $\pm 0,5$ 70,0	Media $\pm 0,6$ 40,6
Paralelo	Entrada Fria	Saída Fria	Entrada Quente	Saída Quente
temp 50-amb	Media $\pm 0,6$ 22,1	Media $\pm 0,6$ 28,9	Media $\pm 0,6$ 43,5	Media $\pm 0,6$ 37,9
temp 70-amb	Media $\pm 0,6$ 23,1	Media $\pm 0,6$ 37,7	Media $\pm 0,6$ 65,9	Media $\pm 0,6$ 50,6
temp 70-4	Media $\pm 0,6$ 6,8	Media $\pm 0,5$ 26,8	Media $\pm 0,6$ 65,4	Media $\pm 0,7$ 40,0

Fonte: Autor, 2022.

Tabela 5 - Valores obtidos para calor, MLDT e U no escoamento contracorrente

Contracorrente	MLDT	$\rho(\text{kg/m}^3)$	$\dot{m}(\text{kg/seg})$	$C_p(\text{j/kg.K})$	Q (W)	U ($\text{W/m}^3\text{K}$)
temp 50-amb	$(\Delta t_1 - \Delta t_2) / \ln(\Delta t_1 / \Delta t_2)$ 15,1	988,0	0,0038	4179,0 41°C	$Q = \dot{m} C_p \Delta T$ 112,6	$U = Q / (A \cdot \Delta T \cdot \text{MLDT})$ 256,9
temp 70-amb				61°C		
temp 70-4	28,0 34,8	988,0 988,0	0,0038 0,0038	4185,0 4183,0 55°C	273,5 461,9	337,1 457,2

Fonte: Autor, 2022.

Tabela 6 - Valores obtidos para calor, MLDT e U no escoamento paralelo

Paralelo	MLDT	$\rho(\text{kg/m}^3)$	$\dot{m}(\text{kg/seg})$	$C_p(\text{j/kg.K})$	Q (W)	U ($\text{W/m}^3\text{K}$)
temp 50-amb	$(\Delta t_1 - \Delta t_2) / \ln(\Delta t_1 / \Delta t_2)$ 14,3	988,0	0,0033	4179,0 40°C		
temp 70-amb				55°C		
temp 70-4°C	24,9 30,5	988,0 988,0	0,0033 0,0033	4183,0 4181,0 50°C	208,7 346,2	288,6 392,0

Fonte: Autor, 2022.

Comparando os resultados do coeficiente global de transferência de calor da Tabela 5 com a Tabela 6 é possível afirmar que o regime contracorrente apresentou valores mais altos de MLDT e U, confirmando maior eficiência na troca térmica (Kakaç; Liu, 2002). Em todos os ensaios, observou-se a tendência da saída do fluido frio se aproximar da temperatura de saída do fluido quente, especialmente no escoamento contracorrente.

REALIZAÇÃO



Associação Brasileira de Educação em Engenharia

ORGANIZAÇÃO

PUC
CAMPINAS
PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Levando em conta que o Dispositivo de medição de temperatura utilizado foi um protótipo, atrelado a custos, o estudo do trocador de calor tubo duplo utilizando o termopar, apresentou resultados positivos quanto a variação da temperatura e tempo de resposta, mantendo uma medição constante durante todo o experimento. Sendo assim uma alternativa viável para uso em laboratório considerando sua resposta confiável e seu valor financeiro em torno de R\$460,00, como mostra o Quadro 1.

Os resultados para os dois diferentes escoamentos apresentaram uma boa estabilidade, contudo deve-se levar em consideração que as condições laboratoriais, climáticas assim como dos equipamentos utilizados, afetam negativamente os resultados obtidos. É importante ressaltar que o dispositivo termopar desenvolvido neste estudo, pode ser usado em qualquer modelo de trocador de calor, apenas sendo necessário instalá-lo nas entradas e saídas do trocador de calor escolhido.

A partir dos dados de temperatura coletados, foi possível calcular os valores da média logarítmica, que apresentou um comportamento alinhado com a literatura, onde o escoamento paralelo apresentou uma diferença de temperatura maior inicialmente e foi diminuindo ao longo do experimento, enquanto a contracorrente se manteve em uma diferença de temperatura mais homogênea. Além disso, a operação em contracorrente apresentou uma diferença das temperaturas de saída bem pequena quando comparada ao paralelo, o que torna essa corrente muito mais vantajosa, pois a quantidade de calor transferida entre os fluidos é maior.

Com os dados das médias logarítmicas e taxa de transferência de calor calculou-se o coeficiente global de transferência de calor. Ele apresentou um maior coeficiente para o regime contracorrente quando comparado com o paralelo. Considerando as perdas de calor por convecção para a vizinhança, pode-se concluir que o regime contracorrente em um trocador de calor tubo duplo é mais eficiente que o paralelo.

Conclui-se ainda que para a utilização do trocador com o dispositivo termopar para estudos em laboratório não se faz necessário uma faixa de temperatura muito alta, como foi mostrado neste trabalho, os valores calculados para as correntes a 50 graus e temperatura ambiente foram satisfatórios, dispensando assim o fluido frio e uma temperatura muito elevada para o fluido quente.

REFERÊNCIAS

Livros:

- ALVES, A. et al. Introdução à instrumentação. São Paulo: LTC, 2016.
- ARAÚJO, J. C. Transferência de calor. São Paulo: Pearson, 2002.
- BRAGA, N. C. Pares Termoelétricos. Instituto NCB, 2010.
- ÇENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. Mecânica dos fluidos. 3. ed. Porto Alegre: AMGH, 2015.
- DELATORE, D. M. Trocadores de calor. Campinas: UNICAMP, 2011.
- KAKAÇ, S.; LIU, H. Heat exchangers: selection, rating, and thermal design. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2002.

REALIZAÇÃO



15 a 18 DE SETEMBRO DE 2025
CAMPINAS - SP

ORGANIZAÇÃO



KREITH, F. Princípios da transferência de calor. São Paulo: Edgard Blücher, 1977.

LUCAS, D. H. P. Trocador de calor tubular: construção e funcionamento. Varginha: Unis/MG, 2014.

Internet:

MAXIM INTEGRATED. MAX6675 Datasheet: Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C). Disponível em: <https://www.analog.com>. Acesso em: 10 jan. 2025.

Documentos Históricos:

SEEBECK, T. J. Magnetische Polarisation der Metalle und Erze durch Temperatur-Differenz. 1821.

DEVELOPMENT OF A REAL-TIME TEMPERATURE MONITORING DEVICE APPLIED TO EXPERIMENTAL TESTS WITH HEAT EXCHANGERS

Abstract: The heat Exchange has been widely applied in the engineering field and is intensively studied in practice and experimental classes. The purpose of this practice is to transfer heat between two fluids that have different temperatures, leading to the output of one fluid with a specific temperature. Following a great demand to improve experiments with heat exchangers in the engineering laboratory courses at the Federal University of Alfenas, this project aimed to develop an automated device to perform the acquisition of temperature as a function of time, in four distinct positions on a heat exchanger. The device was programmed in an Arduino to send the temperature measurements directly and simultaneously to a 16x2 LCD display and to Excel, where the temperature measurements were taken through a thermocouple, and they were amplified and converted to degrees Celsius by a module Max 6675. The heat exchanger used in this study was a double tube and the inlet and outlet temperatures of the fluids in parallel and countercurrent flow were measured during the tests and with their measurements the Logarithmic mean temperature difference, the heat transfer rate and the Overall Heat Transfer Coefficient were calculated. Over the entire practice, water was used for both fluids and flow remained constant. Given the above work, it was possible to conclude that the global heat transfer coefficient is more efficient in the countercurrent flow, as it presented a higher result for this regime when compared to the parallel one. It was also found that the thermocouple device showed positive results in terms of temperature variation and response time during the experiment.

Keywords: Double tube heat exchanger. Thermocouple. Overall Heat Transfer Coefficient.

REALIZAÇÃO



Associação Brasileira de Educação em Engenharia

ORGANIZAÇÃO



