

ELABORAÇÃO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA CONTROLE DE TEMPERATURA E MEDIÇÃO DE VAZÃO

DEVELOPMENT OF A DIDACTIC BENCH FOR TEMPERATURE CONTROL AND FLOW MEASUREMENT

Ana Karoline Volz¹, Jefferson Alves Oliveira²

DOI: 10.37702/REE2236-0158.v41p373-384.2022

RESUMO

Este trabalho apresenta a construção de uma bancada didática que serve de ferramenta para ensino-aprendizagem da Engenharia Mecânica, sendo útil para as práticas de laboratório relacionadas ao controle de processos industriais. Por meio da bancada, é possível controlar a temperatura dentro de uma faixa de valores e avaliar a vazão da água, visando a aproximar os graduandos do contato com variáveis de processo e com situações que são recorrentes nas indústrias e no dia a dia dos engenheiros que nelas trabalham. A bancada foi construída com materiais e equipamentos de baixo custo ou doados, além de utilizar os equipamentos já existentes no laboratório de Automação Industrial da faculdade. O funcionamento da bancada se resume ao aquecimento de água de um reservatório por meio de uma resistência elétrica e o posterior resfriamento desse fluido por intermédio de uma serpentina. Quando um sensor informa, através das entradas do CLP, mudanças nas variáveis medidas do processo, o controlador, através do programa previamente estabelecido em sua memória, atua no sistema por meio de suas saídas.

Palavras-chave: resfriamento de fluido; CLP; variáveis de processo.

ABSTRACT

This paper presents the construction of a didactic bench that serves as a tool for teaching and learning of mechanical engineering, being useful for laboratory practices related to the control of industrial processes. Through the bench, it is possible to control the temperature within a range of values and evaluate the water flow, aiming to bring the students closer in contact with process variables that are recurrent in the industries and in the daily life of the engineers who work on them. The bench fabrication did employ low-cost or donated materials and equipment, in addition to using existing equipment in the college's Industrial Automation laboratory. The operation of the bench boils down to heating a reservoir's water through an electrical resistor and later cooling it through a coil. When a sensor informs, through the PLC inputs, changes in the measured process variables, the controller, through the program previously established in its memory, acts in the system through its outputs.

Keywords: fluid cooling; PLC; process variables.

¹ Engenheira Mecânica pela UFMT, *campus* Rondonópolis; ana_volz@hotmail.com

² Prof. Dr. em Engenharia, UFMT, *campus* Rondonópolis; jefferson@ufmt.br

INTRODUÇÃO

Durante a graduação em Engenharia, os alunos, comumente, desenvolvem diversas tarefas em laboratório, com o objetivo de complementar seus conhecimentos teóricos conquistados em sala de aula com as noções fornecidas pelas aulas práticas. Essas atividades são muito importantes para o ensino, pois, como afirma Achterberg (1988), quando os estudantes não estabelecem uma relação entre a teoria estudada e a situação prática, decorre a chamada “teoria desconexa”, a qual impede uma boa absorção do conhecimento.

Os equipamentos utilizados para as atividades de ensino-aprendizagem em laboratório, tais como as bancadas didáticas, na maioria das vezes, são adquiridos pelas universidades por meio de fornecedores de plantas didáticas comerciais. No entanto, a maioria das bancadas didáticas aplicáveis ao ensino em nível de graduação possui um alto custo e seu processo de aquisição pelas universidades pode ser bastante longo e burocrático.

Diante disso, uma alternativa plausível para se obter esses objetos educacionais de forma mais simples é a confecção destes pelos próprios acadêmicos, o que, além de reduzir custos, auxilia no aprendizado dos estudantes que os fabricam, pois possibilita o aprimoramento de atributos muito importantes para os profissionais de engenharia, como os de projetar, acompanhar e executar um projeto.

Neste trabalho, apresenta-se os processos efetuados para confecção de uma bancada experimental didática de baixo custo e os resultados obtidos por meio dos testes realizados nela, onde foi analisado o comportamento de um sistema de aquecimento e posterior resfriamento de água, comandado por um controlador lógico programável. Por meio da bancada desenvolvida, é possível controlar a temperatura da água de um reservatório e avaliar a vazão da água que flui na tubulação através de um sensor de fluxo.

O objetivo de se medir e controlar as diversas variáveis físicas (temperatura, pressão, vazão, nível, umidade etc.) em processos industriais é obter produtos de ótima qualidade,

com melhores condições de rendimento e segurança e a custos compatíveis com as necessidades do mercado consumidor (SENAI, 2015). Como todo módulo experimental empregado nas Instituições de Ensino Superior, a bancada apresentada neste trabalho possui a intenção de fazer com que os estudantes tenham contato prático com aquilo que é estudado na teoria. Assim sendo, por intermédio dessa ferramenta, será possível aproximar os graduandos do contato direto com variáveis de processo e situações que são recorrentes nas indústrias e no dia a dia dos profissionais que nelas trabalham.

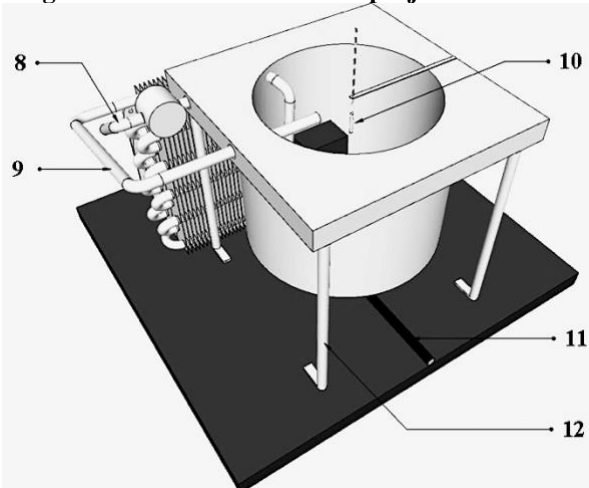
METODOLOGIA

Visando à criação de um sistema de aquecimento e posterior resfriamento de água para servir de objeto de ensino nas aulas de engenharia, dividiu-se este trabalho nas seguintes etapas principais: 1) projeto da bancada didática; 2) construção da estrutura física; 3) implementação; 4) testes e análise de resultados.

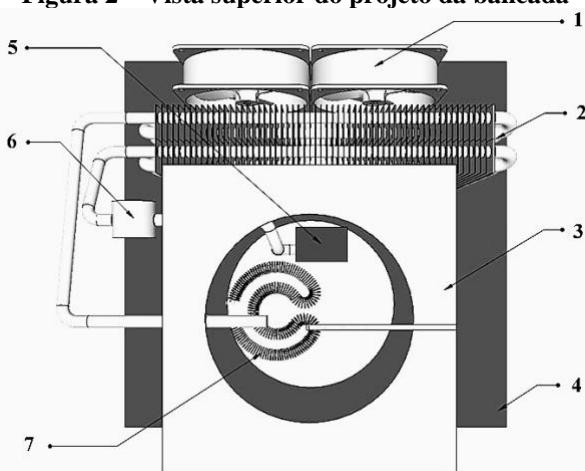
Projeto da bancada didática

Partindo-se de uma ideia inicial sobre os materiais e dispositivos que seriam necessários para a confecção e funcionamento da bancada didática proposta neste trabalho, buscou-se aproveitar aqueles já existentes no laboratório de automação da faculdade. Por outro lado, para os materiais inexistentes no laboratório, optou-se por utilizar aqueles que poderiam ser cedidos por terceiros e/ou que possuíssem um baixo custo de aquisição.

As Figuras 1 e 2 mostram, em uma modelagem feita em um *software* CAD 3D, as vistas superior e isométrica da bancada idealizada para este projeto, nas quais é possível visualizar a disposição das partes que a constitui.

Figura 1 – Vista isométrica do projeto da bancada

Fonte: elaborada pelos autores.

Figura 2 – Vista superior do projeto da bancada

Fonte: elaborada pelos autores.

Conforme pode ser visto nas Figuras 1 e 2, dentro do reservatório (3) estão presentes o resistor elétrico (7), elemento responsável pelo aquecimento da água que é inicialmente colocada pela parte superior do reservatório, uma bomba d'água (5), responsável por impulsionar a água aquecida para circular dentro da serpentina do trocador de calor, e um termistor encapsulado (10), que possibilita identificar a temperatura por meio da variação da resistência ôhmica do material de que é constituído, conforme há um aumento ou diminuição da temperatura da água em contato com este.

O trocador de calor (2) é o componente responsável por trocar o calor da água do reservatório com o meio externo e as aletas presentes nele têm como finalidade aumentar

significativamente a área de troca de calor do lado do fluido com menor coeficiente de troca térmica, nesse caso o ar.

Os ventiladores (1) foram posicionados próximo ao trocador de calor com a intenção de fazer com que a troca térmica entre o ar externo e água que passa no interior dos tubos do trocador seja mais eficiente, pela convecção forçada de ar.

A tubulação de saída (8) corresponde a tubulação de recalque da bomba d'água, que vai desde a saída desta até a entrada do trocador de calor, passando pelo sensor de fluxo (6) que, por sua vez, possui o papel de informar de maneira indireta a vazão com que a água circula pelo sistema. Já a tubulação de retorno (9) corresponde a tubulação que se encontra desde a saída do trocador de calor até a parte superior da cuba reservatória.

Por fim, a base (4) propicia a fixação de todos os componentes, a mangueira (11) é o item pelo qual é possível realizar o esgotamento da água da cuba reservatória quando finalizado os ensaios, bastando retirar o tampão plástico que se encontra na sua extremidade.

Por último, o suporte (12), o qual é composto por quatro tubos dobrados nas suas extremidades inferiores de forma a oferecer apoio para o reservatório para que este possa ser fixado à base.

Construção da estrutura física

Com a etapa de projeto concluída, iniciou-se a parte prática com a montagem da estrutura física da bancada didática. Para isso, na sua maioria, foram utilizados materiais e peças cedidos por uma empresa local, a fim de reduzir custos e reaproveitar recursos de forma a contribuir para a preservação do meio ambiente.

A Figura 3 mostra o sensor de fluxo utilizado no projeto. Trata-se do modelo YF-S401, em que a alimentação é realizada com tensão contínua de 5 à 12V por meio dos fios vermelho e preto, sendo o último o potencial de referência. O sinal de saída é obtido pelo fio amarelo através de uma forma de onda quadrada cuja frequência dos pulsos é proporcional à vazão (1L = 5880 pulsos, com

precisão de +/- 5%). O princípio de funcionamento desse sensor se baseia na leitura via um sensor de efeito *hall* integrado que gera pulsos de acordo com a variação do campo magnético com o auxílio de um rotor interno (USINAINFO, 2020). Assim, é possível relacionar a quantidade de voltas desenvolvidas pelo rotor a partir da passagem do líquido com o volume em litros que passou pelo sensor de acordo com a frequência dos pulsos gerados.

Figura 3 – Sensor de fluxo utilizado no projeto



Fonte: acervo dos autores.

A Figura 4 mostra o termistor encapsulado, modelo 12J1HE, utilizado no projeto da bancada didática, sendo que ele atuava anteriormente em um refrigerador como um sensor de temperatura. Esse modelo de termistor em específico é do tipo NTC (*Negative Temperature Coefficient*), pois há uma diminuição do valor ôhmico à medida que a temperatura se eleva e vice-versa, ou seja, o coeficiente de variação de resistência com a temperatura é negativo (SEIDEL, 2010).

Figura 4 – Termistor utilizado no projeto



Fonte: acervo dos autores.

A bomba d'água utilizada foi uma submersível da marca RONMA, modelo H-500 (Figura 5), que pertencia a um climatizador de ar, detentora das características: tensão AC de 120V, frequência de 60Hz, potência de 4W, altura de elevação máxima de 0,6m, vazão máxima de 300L/h e isolamento à prova d'água (IPX8).

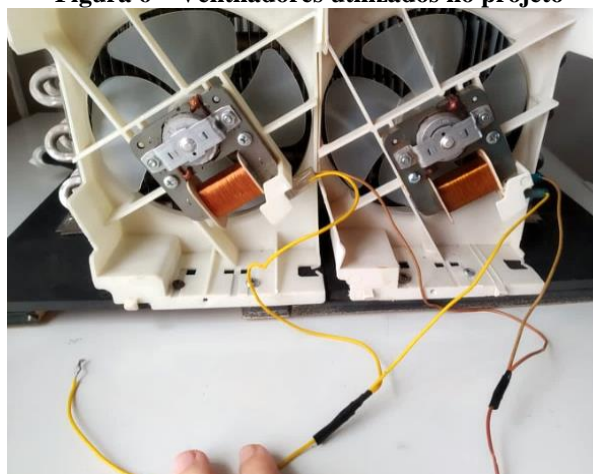
Figura 5 – Bomba d'água submersível utilizada no projeto



Fonte: acervo dos autores.

Foram utilizados dois ventiladores elétricos modelo MDT-08A da marca MIDEA (Figura 6), retirados de fornos micro-ondas, que possuem como características: tensão AC de 127V, frequência de 60Hz e potência de 20W cada. Eles foram associados em paralelo a fim de trabalharem em conjunto e nas suas tensões nominais.

Figura 6 – Ventiladores utilizados no projeto



Fonte: acervo dos autores.

A Figura 7 mostra a resistência elétrica utilizada para aquecer a água do sistema proposto neste trabalho, que possui como características 220 V de tensão e 4800 W de potência nominal.

Figura 7 – Resistência elétrica utilizada no projeto



Fonte: acervo dos autores.

A Figura 8 apresenta como ficou a bancada didática após a sua produção, vista de diferentes ângulos. Além do que havia no projeto, foi acrescentado também à bancada, na parte superior do reservatório, uma tampa removível que protege os equipamentos mais sensíveis inseridos dentro deste.

Figura 8 – Bancada didática construída



Fonte: acervo dos autores.

Implementação

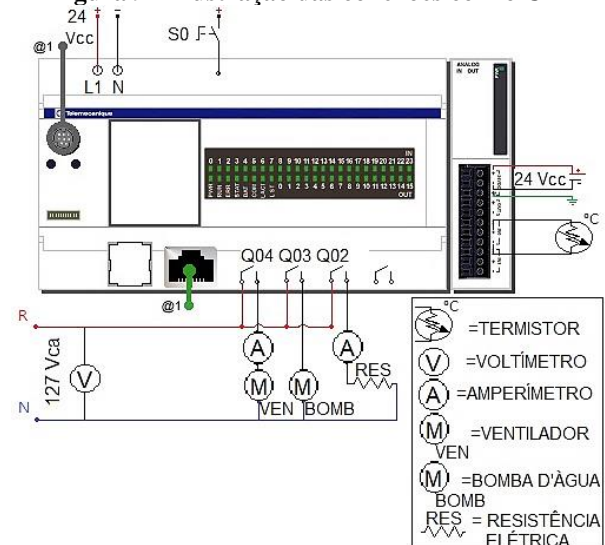
Para que fosse possível a automatização do sistema, utilizou-se um Controlador Lógico Programável (CLP) de modelo TWDLCE40DRF da família Twido, fabricado pela Schneider Electric. Como esse modelo de controlador não possui entradas

analógicas, também se fez necessário utilizar, em conjunto com o controlador, um módulo de expansão analógico disponível no laboratório.

Assim sendo, acrescentou-se ao CLP da Schneider o módulo de expansão analógico modelo TM2AMM3HT, do mesmo fabricante, sendo que ambos foram alimentados a uma tensão contínua de 24 V.

A Figura 9 ilustra as conexões do CLP com os elementos necessários para o funcionamento automatizado do sistema projetado em que, na entrada analógica do módulo de expansão, acoplou-se o sensor de temperatura (termistor). Às saídas digitais do controlador foram conectados os atuadores do sistema (ventiladores, bomba d'água e resistência elétrica) e, por fim, foi vinculada à entrada digital do controlador uma chave retentiva.

Figura 9 – Ilustração das conexões com o CLP



Fonte: Adaptado de TwidoSuite®.

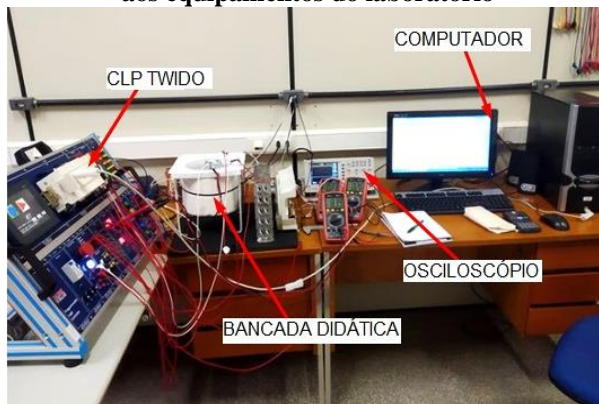
Conforme ilustrado na Figura 9, também integrados ao sistema, foram dispostos os equipamentos de medição para averiguar a tensão e a corrente às quais os atuadores ficaram submetidos. Além disso, um cabo de comunicação possibilitou a ligação do CLP a um computador.

Ainda, foi utilizado, para tornar possível a leitura de vazão de água através dos pulsos gerados pelo sensor de fluxo do sistema didático, um osciloscópio digital modelo GDS-1022, da fabricante GW Instek.

A Figura 10 mostra como ficou a disposição da bancada junto aos demais

equipamentos do laboratório de Automação Industrial da faculdade.

Figura 10 – Montagem da bancada didática junto aos equipamentos do laboratório



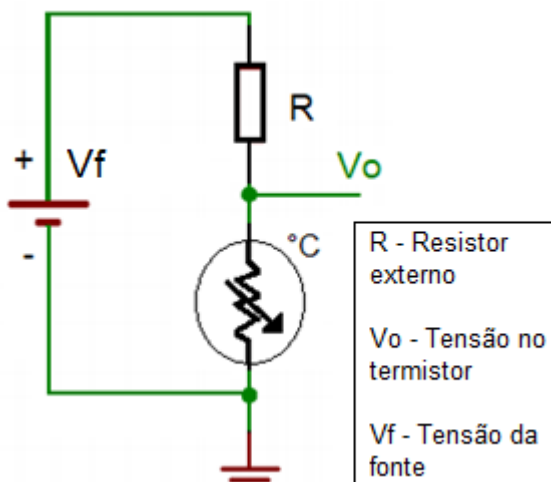
Fonte: elaborada pelos autores.

Circuito externo

Para efetuar a leitura da temperatura da água, foi necessário converter a variação da resistência do material que compõe o termistor em uma variação de tensão cujo valor varie de 0 a 10 V, que é a faixa de tensão a qual o modelo de módulo de expansão analógico utilizado neste trabalho é capaz de reconhecer.

Dessa forma, foi criado um circuito divisor de tensão, semelhante ao representado na Figura 11, no qual se adiciona em série com o termistor um ou mais resistores externos.

Figura 11 – Circuito do termistor em série com um resistor externo



Fonte: elaborada pelos autores.

Nesse circuito, a tensão em cima do termistor pode ser calculada através da equação (1),

$$V_0 = \frac{R_t V_t}{R_t + R} \quad (1)$$

em que:

V_0 – tensão no termistor [V];

V_t – tensão da fonte [V];

R_t – resistência do termistor [Ω];

R – resistência do resistor externo [Ω].

Tendo em vista isso, foi utilizada uma fonte de alimentação de 24 V e dois resistores em série, sendo um de 15 k Ω e outro de 2,2 k Ω , resultando em uma resistência externa equivalente de 17,2 k Ω . Essa seleção se baseou no fato da disponibilidade dos resistores para o projeto e na diferença de amplitude da tensão no termistor entre os valores de 25°C e 50°C, que é a faixa de temperatura adotada para se trabalhar com água no projeto, para resistores externos de distintos valores ôhmicos.

Balanco térmico

Para as condições de pressão constante, a quantidade de calor que é transferida de um corpo ou para um corpo com massa m – no caso deste trabalho, a massa de água – relaciona-se com a variação de temperatura desta de acordo com a equação (2),

$$Q = mc_p \Delta T \quad (2)$$

em que:

Q – quantidade de calor [J];

m – massa de água [g];

c_p – calor específico da água ($c_p \approx 4,184 \text{ Jg}^{-1} \text{ K}^{-1}$)

ΔT – variação de temperatura [K].

Por meio da equação (2), pode-se determinar não apenas a quantidade de calor, mas também o sentido da transferência de calor, pois quando a temperatura do corpo se eleva ($T_f > T_i$) a expressão terá sinal positivo (+) e quando há uma diminuição de temperatura, ou seja quando o calor é transferido do corpo ($T_i > T_f$), a equação fica com sinal algébrico negativo (-).

A potência pode ser definida como a razão entre a quantidade de energia trocada por um

sistema e o intervalo de tempo no qual isso ocorre. No caso dos sistemas de aquecimento ou resfriamento, essa quantidade de energia representa a quantidade de calor recebida ou liberada pelo corpo e, portanto, a potência desse sistema pode ser escrita conforme a equação (3),

$$P_{sist} = \frac{Q}{\Delta t} \quad (3)$$

em que:

P_{sist} – potência do sistema [W];

Q – quantidade de calor liberada [J];

Δt – variação de tempo [s].

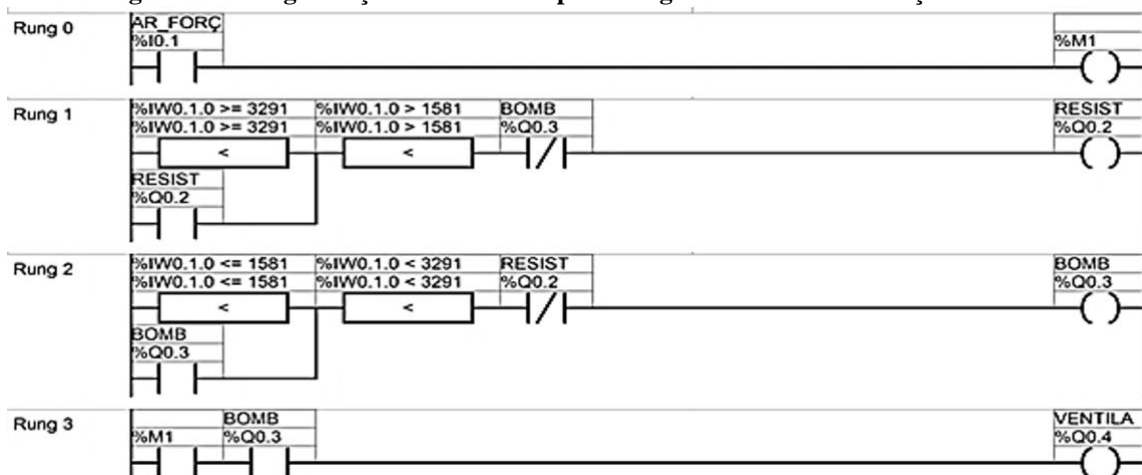
Programação do controlador

Para a implementação do projeto desenvolvido neste trabalho, utilizou-se como ferramenta de programação o *software* TwidoSuite®. Trata-se de um ambiente virtual, desenvolvido pela mesma fabricante do

Controlador Lógico Programável, a Schneider Electric, no qual é possível criar, configurar e manter instruções de comando de forma simples e intuitiva para os CLPs da família Twido.

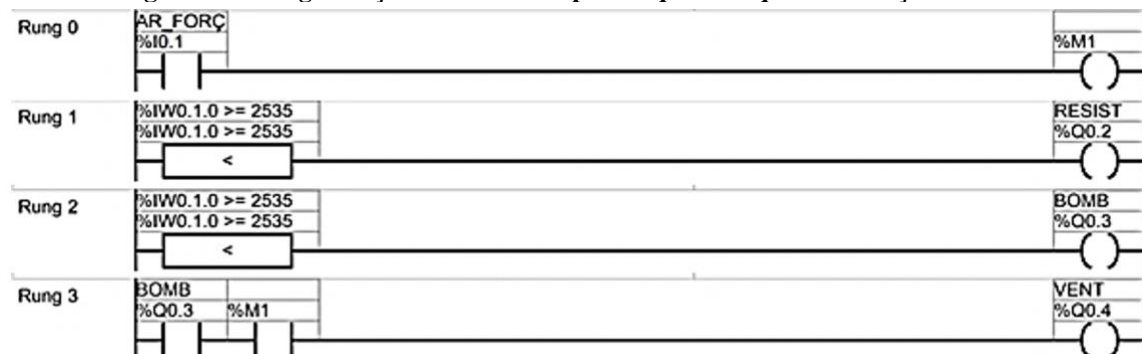
As Figuras 12 e 13 mostram as programações feitas, utilizando-se como linguagem de programação o diagrama Ladder, para a segunda, terceira, quarta e quinta condições simuladas com a bancada. Configurou-se no programa os modelos de controlador e módulo de expansão analógico disponíveis para o projeto e foi selecionado o tipo de leitura do canal de entrada analógica como sendo de 0 – 10 V para a entrada %IW1.0, sendo que 0 V e 10 V correspondem, respectivamente, ao valor numérico 0 e 4095 devido à resolução de 12 bits da entrada analógica.

Figura 12 – Programação desenvolvida para a segunda e terceira condição simulada



Fonte: captura de tela do TwidoSuite®.

Figura 13 – Programação desenvolvida para a quarta e quinta condição simulada



Fonte: captura de tela do TwidoSuite®.

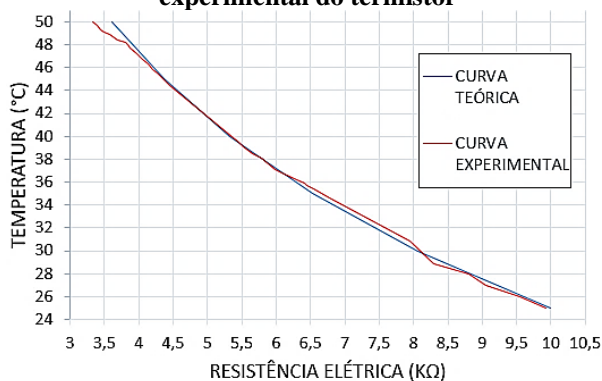
RESULTADOS

Os resultados obtidos durante o desenvolvimento deste trabalho com a realização de testes da bancada em funcionamento estão apresentados a seguir.

Verificação do Termistor

Para verificar se o termistor estava funcionando em conformidade com a curva característica dele, foi realizado um teste a fim de se obter uma curva experimental. Para realizar esse teste, o encapsulamento do termistor ficou submerso em água, dentro do reservatório, onde a resistência elétrica foi ativada e variou a temperatura da água desde a temperatura de 25°C até 50°C. As extremidades do termistor foram conectadas às pontas de prova de um multímetro digital que mostrou o valor da resistência em k Ω enquanto um termômetro digital posicionado dentro do reservatório informava a temperatura da água. Os valores de resistência e da temperatura correspondente a ela foram tomados em diferentes momentos e, dessa forma, foi feita uma comparação (Figura 14) entre os dados experimentais obtidos (curva vermelha) e os teóricos (curva azul) informados pelo fabricante.

Figura 14 – Comparação entre as curvas teórica e experimental do termistor



Fonte: adaptada de EMERSON, 2006.

Percebeu-se, pela Figura 14, que o sensor apresentou uma boa concordância entre as duas curvas, o que demonstrou que este estava operando corretamente dentro da faixa de

temperatura que se pretende trabalhar com a bancada.

Primeira condição simulada

A fim de saber a quantidade calor perdida para o ambiente devido à tendência natural de equilíbrio térmico, deixou-se a água, após ser aquecida, resfriar-se naturalmente, dentro de um limite de tempo preestabelecido, obtendo-se os resultados expostos na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados obtidos para a primeira condição simulada

Símbolo	Descrição	Valor	Unid.
T_i	Temperatura inicial da água	50	°C
T_f	Temperatura final da água	46	°C
t	Tempo do experimento	21	min
$Q_{perdido}$	Quantidade de calor perdida para o ambiente	- 39,9	kJ

Fonte: elaborada pelos autores.

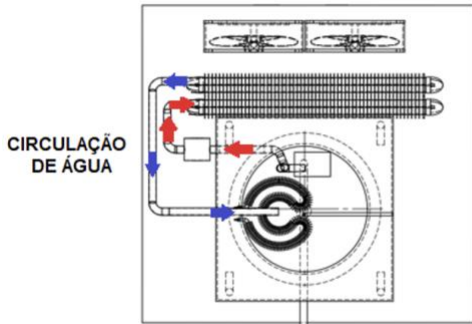
Essa quantidade de calor perdida para o ambiente foi determinada para se ter uma noção dos valores reais de arrefecimento provocados pela circulação de água e/ ou de ar dos próximos ensaios.

Segunda condição simulada

A segunda condição simulada foi o resfriamento à circulação forçada de água e ar natural; ou seja, após o aquecimento da água, foi feito um resfriamento desta por meio da circulação da água, impulsionada pela bomba d'água, pela serpentina do trocador de calor e sem a utilização dos ventiladores. A Figura 15 ilustra o esquema do resfriamento realizado, em que as setas vermelhas indicam a circulação da água aquecida até o trocador de calor e as azuis o retorno da água para o reservatório.

Na Tabela 2 estão expostos os resultados obtidos com o experimento, sendo que este também foi limitado a mesma duração da primeira condição simulada.

Figura 15 – Esquema representativo do resfriamento para a segunda condição simulada



Fonte: elaborada pelos autores.

Tabela 2 – Resultados obtidos para a primeira condição simulada

Símbolo	Descrição	Valor	Unid.
T_i	Temperatura inicial da água	49,99	°C
T_f	Temperatura final da água	40,67	°C
t	Tempo do experimento	21	min
\bar{f}	Média da frequência dos pulsos	32,19	Hz
\dot{V}	Vazão Volumétrica	0,33	L/min
Q_{liberada}	Quantidade de calor liberada do sistema	- 92,99	kJ
P_{sist}	Potência do sistema	73,8	W

Fonte: elaborada pelos autores.

A vazão volumétrica da água foi calculada com base em uma média da frequência dos pulsos que foram tomados durante a realização do ensaio (Tabela 3).

Tabela 3 – Frequência dos pulsos tomadas no segundo ensaio

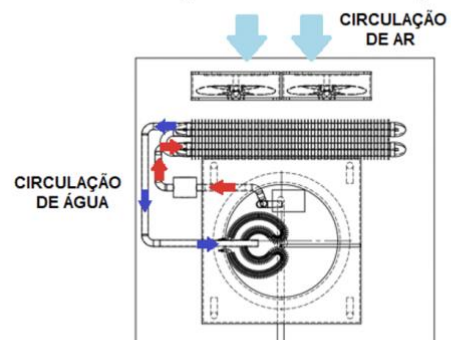
Número da medição	Frequência dos Pulsos [Hz]
1	25
2	35,82
3	33,2
4	33,92
5	33,03

Fonte: elaborada pelos autores.

Terceira condição simulada

A diferença entre a segunda e a terceira condição simulada é que na terceira a chave retentiva I0.1 (Figura 12) foi colocada na posição *ON*, permitindo que os ventiladores atuassem no resfriamento, dessa forma, gerando um resfriamento à circulação forçada de água e ar forçado. A Figura 16 ilustra, de maneira esquemática, o resfriamento realizado nesse ensaio, em que as setas de cor azul claro representam o ar sendo capturado pelos ventiladores.

Figura 16 – Esquema representativo do resfriamento para a terceira condição simulada



Fonte: elaborada pelos autores.

Na Tabela 4 estão expostos os resultados obtidos com esse experimento.

Tabela 4 – Resultados obtidos com o resfriamento da terceira condição simulada

Símbolo	Descrição	Valor	Unid.
T_i	Temperatura inicial da água	50,15	°C
T_f	Temperatura final da água	29,93	°C
t	Tempo do experimento	21	min
\bar{f}	Média da frequência dos pulsos	32,5	Hz
\dot{V}	Vazão Volumétrica	0,33	L/min
i	Corrente no ventilador	0,55	A
u	Tensão no ventilador	125	V
P_{vent}	Potência elétrica do ventilador	68,75	W
Q_{liberada}	Quantidade de calor liberada do sistema	- 201,73	kJ
P_{sist}	Potência do sistema	160,1	W

Fonte: elaborada pelos autores.

O mesmo procedimento do experimento anterior foi feito para o cálculo da vazão volumétrica de água.

Comparativo entre as quantidades de calor dissipadas

A Tabela 5 apresenta os dados obtidos individualmente para cada condição de arrefecimento, ou seja, cada condição (circulação não forçada, circulação de água forçada e circulação de ar forçado) foi avaliada de forma a descontar os valores referentes aos efeitos provocados pelas outras condições que ocorriam conjuntamente.

Tabela 5 – Quantidade de calor dissipada individualmente em cada condição

Condição	Quantidade de calor dissipada [kJ]
Sem circulação	-39,91
Circulação de água forçada	-53,08
Circulação de ar forçado	-108,7

Fonte: elaborada pelos autores.

Dessa forma, percebe-se que a circulação de água forçada no interior dos tubos do trocador de calor proporcionou um aumento de 33,1% na quantidade de calor dissipada em relação à condição em que não havia nenhuma circulação no sistema, e a circulação de ar impulsionada pelos ventiladores aumentou em 104,6% a troca térmica em relação à condição de apenas circulação forçada de água.

Quarta condição simulada

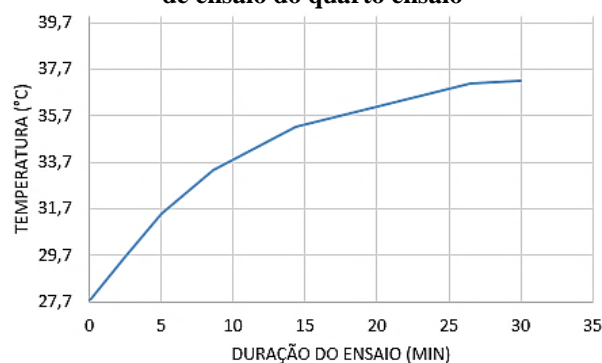
A intenção desse ensaio era verificar se o sistema atingiria um equilíbrio térmico com a ação concomitante do aquecimento pela resistência elétrica e o resfriamento através da circulação forçada e ar forçado, ou seja, verificar se, através de algumas condições impostas, o ganho de calor da água do reservatório seria capaz de se tornar igual ao calor dissipado pelo sistema de arrefecimento de tal forma que proporcionasse um balanço energético nulo.

Para isso, alimentou-se o dispositivo de aquecimento com um valor de tensão que o fizesse operar com uma potência próxima ao

valor da potência do sistema de arrefecimento da terceira condição simulada. Diante disso, optou-se por utilizar a derivação de 65% de um autotransformador de tensão disponível no laboratório, pois, dessa forma, seria possível alimentar a resistência elétrica com um valor de tensão que poderia proporcionar uma potência mais próxima ao valor desejado.

O gráfico da Figura 17 ilustra a variação da temperatura no tempo durante esse ensaio.

Figura 15 – Variação de temperatura versus tempo de ensaio do quarto ensaio



Fonte: elaborada pelos autores.

Pelo gráfico obtido, percebe-se que com as condições impostas o sistema tendeu a equilibrar-se termicamente próximo aos 37 °C.

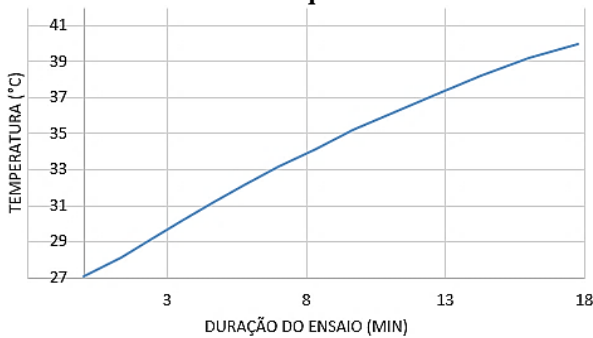
Quinta condição simulada

Para a quinta condição, utilizou-se a mesma programação da condição anterior (Figura 13), porém a chave IO.1 foi mantida na posição *OFF* para que o sistema atuasse sem a ação da convecção forçada de ar proporcionada pelos ventiladores.

Contudo, devido a menor potência do sistema de arrefecimento à circulação forçada e ar natural se comparado ao de ventilação forçada, seria necessário alimentar a resistência elétrica com um valor de tensão menor do que os 65% da tensão nominal da rede para proporcionar uma potência de aquecimento que levasse a um possível equilíbrio térmico. No entanto, o autotransformador não fornecia uma redução menor que esta, então, optou-se por continuar usando essa derivação.

O gráfico da Figura 18 ilustra a variação da temperatura no tempo durante esse ensaio.

Figura 16 – Variação da temperatura versus tempo de ensaio do quinto ensaio



Fonte: elaborada pelos autores.

Percebeu-se, pelo gráfico obtido, que, conforme já era esperado devido à tensão de alimentação da resistência ser maior do que a desejada, o sistema não tendeu a um equilíbrio térmico antes de atingir um dos critérios de parada utilizado, que foi a temperatura da água atingir o patamar de 40°C.

CONCLUSÃO

Por meio desse trabalho foi possível desenvolver uma bancada didática que é capaz de simular diversas situações de resfriamento e aquecimento de um sistema, de forma automatizada, confirmando que é possível que os graduandos produzam objetos educacionais e ferramentas para auxílio ao processo de ensino-aprendizagem da engenharia durante a graduação.

Um ponto importante a ser destacado é que muitos materiais que estão envolvidos com a bancada desenvolvida foram reaproveitados, já que seriam descartados pela empresa que os doou, o que contribui para a conservação do meio ambiente e preservação dos recursos naturais, pois, na maioria das vezes, o destino desses materiais é incerto. Além disso, o processo de reaproveitamento fez com que o autor desenvolvesse a sua capacidade criativa para efetuar a montagem da bancada didática da melhor forma possível.

Ao lidar com sensores, resistências elétricas, trocadores de calor, bombas d'água e outros elementos desse tipo, os alunos acabam se familiarizando com o meio industrial. Além disso, a interdisciplinaridade presente na

bancada desenvolvida coloca os alunos diante de situações mais parecidas com a realidade do mercado de trabalho. Portanto, a bancada desenvolvida neste trabalho, quando utilizada pelos professores nas aulas práticas, será uma ferramenta muito útil para os graduandos se sentirem mais preparados para o seu futuro.

Como sugestão para trabalhos futuros, propõe-se a melhoria da bancada didática desenvolvida, com a adição de fios mais longos e que possuam pinos bananas nas extremidades para facilitar o processo de ligação da bancada com os equipamentos do laboratório. Além disso, propõe-se que sejam desenvolvidos ensaios nos quais se avalie a troca de calor em função da variação da vazão da água que percorre as serpentinas, variando a tensão de alimentação da bomba, e/ou avalie a troca de calor em função de mudanças na tensão de alimentação dos ventiladores.

REFERÊNCIAS

- ACHTERBERG, C. **A perspective on nutrition education research and practice**. J Nutr Educ., 1988.
- EMERSON. **NTC Thermistors 12J Package**. 2006. Disponível em: <http://www.turbo-control.com/rwd1391/store/F3/NTC%20thermistor.pdf>. Acesso em: jan. 2020.
- SEIDEL, Á. R. **Instrumentação aplicada**. 3ª ed. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria: Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, 2010.
- SENAI. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. **Instrumentação Geral**. São Paulo: Editora SENAI-SP, 2015.
- USINAINFO. **Sensor de Fluxo de Água 0,3-6 L/min**. 2020. Disponível em: <http://www.usinainfo.com.br/sensor-de-fluxo-arduino/sensor-de-fluxo-de-agua-03-6-lmin-2841.html>. Acesso em: jan. 2020.

DADOS BIOGRÁFICOS DOS AUTORES



Ana Karoline Volz – É formada em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Mato Grosso (2020).



Jefferson Alves Oliveira – É formado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Mato Grosso (2011), onde atualmente é Professor Adjunto no curso de Engenharia Mecânica. Obteve o grau de Doutor em Engenharia Elétrica na Universidade Federal do Rio Grande do Sul em 2019. Tem interesse nos temas de energias renováveis, geração de energia e máquinas elétricas.