

CONTROLE LIGA-DESLIGA DE TEMPERATURA USANDO O CLP FX3U24M E SUPERVISÃO DE DADOS

Heriliany Iasmin de Sousa (IFPB), E-mail: heriliany.iasmim@academico.ifpb.edu.br
Giuseppe Manoel Dantas Melo (IFPB), E-mail: giuseppe.manoel@academico.ifpb.edu.br
Geronimo Barbosa Alexandre (IFPB), E-mail: geronimo.alexandre@ifpb.edu.br

Resumo: O objetivo do trabalho é a montagem de uma bancada didática térmica e a avaliação do desempenho dinâmico do controle liga-deliga na gestão da temperatura. O protótipo didático é composto pela planta térmica, o sensor de temperatura e o controle que é feito no CLP FX3U24MR, onde este recebe o sinal analógico de temperatura, compara com o set-point definido na lógica em Ladder e aciona os atuadores. O Supervisório foi feito no VTScada da Trihedral, na tela é possível ligar o sistema, definir a temperatura de referência (set-point), visualizar o estado da lâmpada, bem como o valor da temperatura no slide e no gráfico ao longo do tempo. O diferencial do trabalho está no baixo custo, na supervisão local dos dados e na replicabilidade do protótipo por outras instituições de ensino. O controle liga-desliga funcionou de maneira rápida e eficaz na gestão da temperatura. O sistema de monitoramento local mostrou-se confiável e eficiente nas medições, permitindo a supervisão das variáveis do processo em tempo real pela aplicação SCADA, com uma baixa taxa de latência de 4 segundos, adequada em comparação com a dinâmica do processo que se desenrola em minutos.

Palavras-chave: Protótipo, Temperatura, Instrumentação, Controle, Supervisão.

TEMPERATURE ON-OFF CONTROL STRATEGY USING THE FX3U24M PLC AND DATA SUPERVISION

Abstract: The objective of this paper is to assemble a thermal prototype and evaluate the dynamic performance of the on-off control in temperature management. The experimental prototype is composed of the thermal plant, the temperature sensor and the control that is carried out in the PLC FX3U24MR by Mitsubishi Electric, where it receives the analog temperature signal, compares it with the set-point defined in the Ladder logic and activates the actuators. The supervisory was done on VTScada by Trihedral, on the screen it is possible to turn on the system, define the set-point temperature, view the lamp status, as well as the temperature value on the slide and in the graph over time. The differential of the product is the low cost, the local supervision of the data and in the replicability of the prototype by other educational institutions. The on-off control works quickly and effectively to manage the temperature. The local monitoring system proved to be reliable and efficient in measurements, allowing supervision of process variables in real time by the SCADA application, with a low latency rate of 4 seconds, suitable in comparison with the process dynamics which is in minutes.

Keywords: Prototype, Temperature, Instrumentation, Control, Supervision.

1. Introdução

De modo geral um sistema de controle industrial é constituído de múltiplas malhas de controle de processos e de equipamentos (instrumentação) que compõem a planta industrial. No caso do setor de Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis há estudos conclusivos demonstrando que o ajuste da sintonia dos controladores associados ao ajuste do ponto de operação da planta resulta em ganhos econômicos consideráveis e melhoria da estabilidade, bem como garantir a redução do consumo de energia e de emissão de substâncias tóxicas (ALEXANDRE e LIMA, 2012).

O controle de temperatura em processos térmicos industriais é essencial para garantir a eficiência operacional e a estabilidade do processo. Para Ogata (2010), "o controle

preciso da temperatura é essencial em processos industriais, especialmente em sistemas térmicos, onde a precisão do controle influencia diretamente a qualidade do produto". Métodos como o controle *on/off*, embora simples e de baixo custo, têm limitações em termos de precisão, podendo resultar em oscilações no sistema. Esses controladores funcionam alternando entre dois estados (ligado/desligado), o que pode ser inadequado para processos que exigem maior estabilidade. Por outro lado, o PID (Proporcional, Integral e Derivativo), amplamente adotado em processos que necessitam de maior precisão, ajusta continuamente a variável de controle, oferecendo uma resposta mais estável e eficiente (NISE, 2013).

Este estudo tem como objetivo analisar a aplicação do controle liga-deliga (on-off) em um processo térmico, utilizando um Controlador Lógico Programável (CLP) integrado a um sistema de supervisão SCADA. A integração entre o CLP e o sistema SCADA possibilita o monitoramento em tempo real, a coleta de dados operacionais e ajustes dinâmicos dos parâmetros de controle, o que resulta em maior eficiência e controle sobre o processo. "Os sistemas SCADA são essenciais para o monitoramento e controle em tempo real de processos industriais, facilitando a automação e garantindo a eficiência dos processos, bem como a detecção precoce de falhas" (SHAW, 2006).

A pesquisa busca avaliar o impacto do controle liga-deliga na precisão e estabilidade térmica do processo, considerando os benefícios em termos de tempo de resposta e eficiência. O trabalho desenvolvido utiliza o CLP FX3U24MR da Mitsubishi Electric Automation como *hardware* de controle e o VTScada da Delta Electronics na versão demonstrativa como *software* de supervisão. De modo que seja possível ligar, desligar, mudar parâmetros, monitorar as variáveis de controle e gerar relatórios de forma rápida e segura da planta didática.

2. Materiais e Métodos

A pesquisa a ser realizada é do tipo pesquisa de campo com natureza exploratória e descritiva com abordagem qualitativa. A pesquisa de campo, "consiste na observação de fatos e fenômenos tal como ocorrem espontaneamente, na coleta de dados a eles referentes e no registro de variáveis que se presume relevantes, para analisá-los" (MARCONI; LAKATOS, 2011, p.69).

Nesta pesquisa, optou-se por uma abordagem qualitativa, pois segundo Malhotra (*et al*, 2010, p. 113) "esse tipo de abordagem proporciona melhor visão e compreensão do problema". A pesquisa buscou a confecção de um produto, integrando teoria e prática, onde os alunos-pesquisadores são os protagonistas do processo de desenvolvimento.

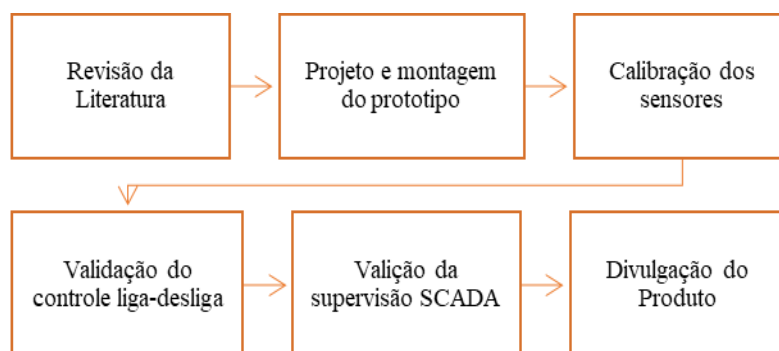


Figura 1 – Processo metodológico da pesquisa. (Autoria própria, 2024).

Os passos metodológicos implementados para consecução dos objetivos estão dispostos

no fluxograma da Figura 1. Inicialmente foi feita a revisão bibliográfica nas seguintes plataformas acadêmicas: IEEE Explorer Digital Library, ScienceDirect, ResearchGate, Periódico Capes e Google Acadêmico, dessa pesquisa foram escolhidos alguns artigos que serviram de base do projeto (Alexandre, 2022), (Pinheiro, 2023), (Silva Neto & Santos, 2024) e (Albuquerque, et al, 2019). Desta forma o trabalho trata-se de uma pesquisa quali-quantitativa com apresentação de um produto.

Após a revisão do estado da arte, foi elaborado os desenhos 2D e 3D do protótipo, bem como a lista de material com o respectivo orçamento. Na sequência foi confeccionada a bancada de aquecimento, instalação da instrumentação e desenvolvimento dos sistemas supervisórios. Com o produto confeccionado foram feitos os testes de avaliação do controle liga-desliga experimental.

Os materiais utilizados para confecção do protótipo experimental estão dispostos na Tabela 1. O custo total do protótipo foi baixo (R\$ 507,36) quando comparado a uma bancada didática comercial similar (R\$ 10.000,00), a cotação foi feita em sites especializados na *internet*.

Tabela 1 – Materiais utilizados no protótipo e orçamento.

Material	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
CLP-FX3U24MR	1	250,00	250,00
Sensor PT-100	1	45,80	45,80
Conversor 4-20mA	1	38,90	38,90
Relé de Interface	1	29,62	29,62
Lâmpada 100W	1	21,99	21,99
Fios e cabos	-	20,00	20,00
Cooler 12V	2	32,00	64,00
Fonte 24V	1	37,05	37,05
Preço total	-	-	507,36

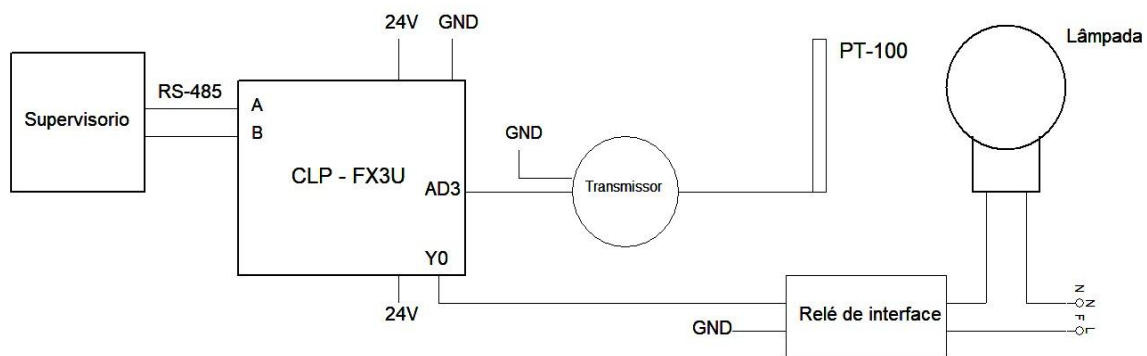


Figura 2 – Diagrama elétrico para o sistema de controle liga-desliga. (Autoria própria, 2024)

Na Figura 2 é ilustrado o diagrama elétrico (ligações) da planta de controle liga-desliga de temperatura feito, o processo de aquecimento pode ser dividido em três partes: os atuadores, os sensores e o CLP. Os atuadores consistem na lâmpada incandescente de 100W/220V, o sensor de temperatura modelo PT100 a prova d'água (blindado) e o conversor de temperatura 4-20mA. Há um relé de interface 24VCC/220VCA que irá comandar (ligar/desligar) a lâmpada, estando na saída digital Y0, os coolers estão em série (totalizando 24V) sendo acionados pela saída digital Y1.

O sensor de temperatura PT100 usado, possui uma faixa de temperatura vasta,

permitindo medições precisas em ambientes que variam de -200°C a 850°C . O conversor de temperatura do PT100 para 4-20mA (entrada analógica – AD3 que está sendo usada) utilizado possui range de 0°C a 150°C .

Foi implementado a lógica Ladder no *software* GX-Works 3 para o controle liga-desliga, bem como a sua aplicação SCADA no VTScada, onde o usuário escolhe os limites operacionais de temperatura do processo térmico (superior e inferior), bem como acompanha o estado da lâmpada, o valor instantâneo da temperatura e o seu gráfico em tempo real.

Com o intuito de obter o modelo em função da transferência do processo térmico, foi realizado um experimento em malha aberta para registrar a curva de aquecimento da lâmpada no ambiente. Inicialmente, o sensor coletou a temperatura ambiente sem a atuação da fonte de calor. Em seguida, a fonte de calor foi ligada, e o sistema começou a aquecer sem nenhuma ação de controle, permitindo que a temperatura subisse livremente até atingir a estabilização.

Os dados para plotar a curva de temperatura em função do tempo foram obtidos por meio da integração do CLP com o software VTScada, que permite exportar as informações em formato XML contendo os valores de tempo e temperatura. Em seguida, esses dados foram importados para o Scilab para gerar o gráfico, proporcionando uma visualização mais detalhada do comportamento térmico do sistema.

3. Resultados e Discussões

O protótipo didático confeccionado pelos pesquisadores do IFPB Campus Cajazeiras foi instalado no Laboratório de Eletrônica de Potência. A plataforma experimental foi montada em uma estrutura de madeira e será revestida (envolto) por um balde transparente para simular um ambiente fechado, minimizando as interferências externas e as perturbações ao sistema, para um melhor desempenho da malha de controle.

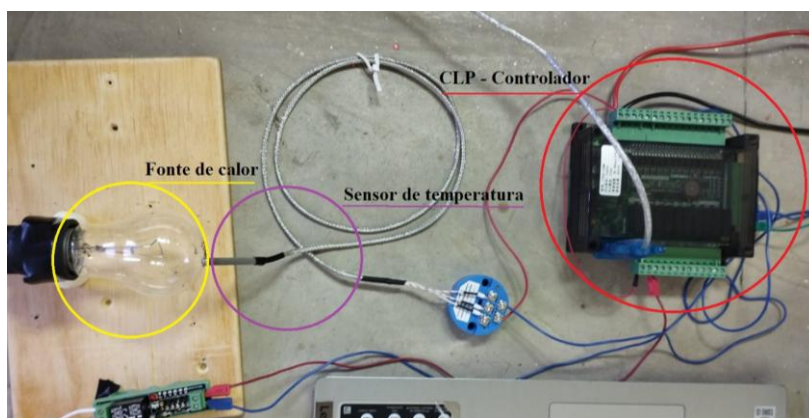


Figura 3 – Calibração do sensor de temperatura PT100. (Autoria própria, 2024)

Na Figura 3 é ilustrado a ligação física feita para a calibração do sensor PT100 com conversor de temperatura para 4-20mA. Os dados são adquiridos pelo CLP (FXCPU) e enviados para a aplicação SCADA (do inglês, *Supervisory Control and Data Acquisition*) via protocolo modbus (RS485), numa taxa de transmissão de 38,4 Kbps, numa rede industrial do tipo mestre-escravo do tipo *full duplex* (permite o envio e o recebimento), na rede foi usado um conversor RS485 para USB (*Universal Serial Bus*), este recebe os dados do CLP (pinos A+ e B-) e converte os dados para serial.

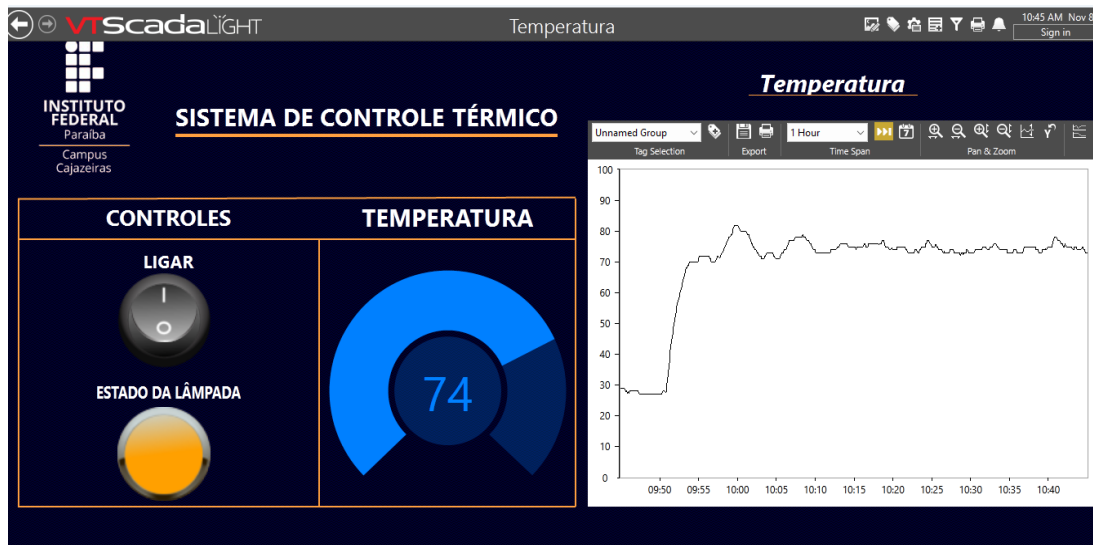


Figura 4 – Tela do VTScada para supervisão da temperatura em malha aberta. (Autoria própria, 2024)

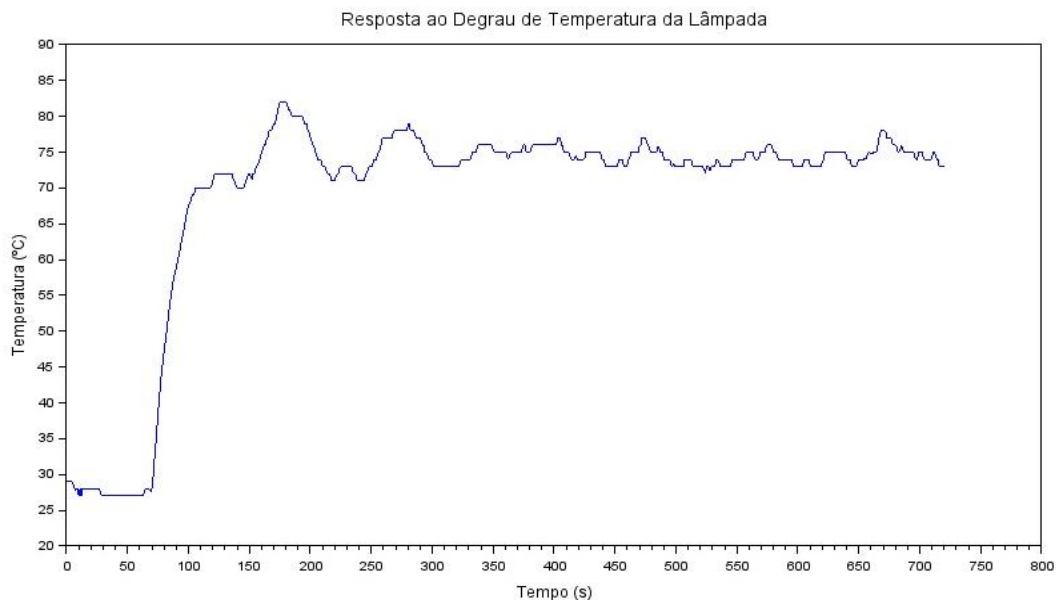


Figura 5 – Gráfico da temperatura em malha aberta. (Autoria própria, 2024)

Na Figura 4 é ilustrada a tela SCADA usada para comando e supervisão do sistema térmico, nesta tela o usuário consegue ligar e desligar a lâmpada, visualizar o *status* (on-off) da lâmpada, visualizar o valor da temperatura medida e seu respectivo gráfico. Na Figura 5 é ilustrada a curva de temperatura (dados exportados para o Scilab) do calor emanado pela lâmpada ao longo do tempo em malha aberta.

Após os testes de calibração do sensor de temperatura foi avaliada a ação de controle liga-desliga na gestão da temperatura emanada pela lâmpada fluorescente, vale salientar que toda as ações de comando estão sendo executado pelo CLP FX3U24MR. Este funciona como o cérebro do processo recebendo as medições dos sensores, que informam o estado do processo e atua fornecendo energia para o comando da lâmpada (atuador elétrico).

A lógica do controle liga-desliga implementada em Ladder dentro CLP, por ser definida como: quando a temperatura medida ultrapassa o valor do set-point definido no sistema supervisório, a lâmpada é desligada; caso a temperatura seja inferior ao set-point, a

lâmpada permanece ligada.

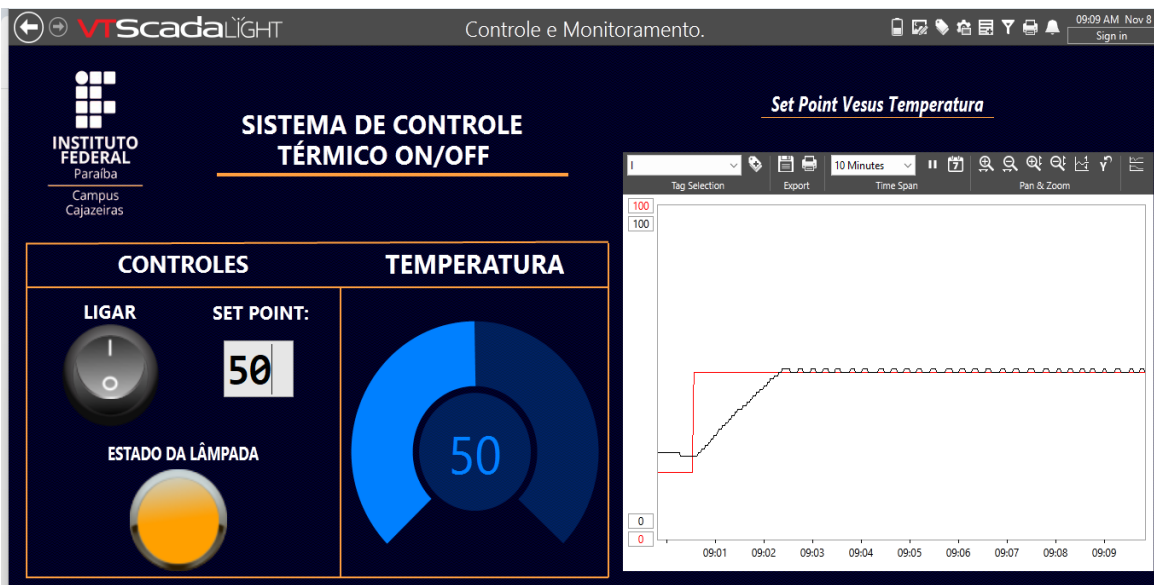


Figura 6 – Tela da aplicação SCADA para o controle liga-desliga. (Autoria própria, 2024)

A Figura 6 ilustra a aplicação desenvolvida no *software* VTScada, utilizada para monitorar o comportamento da temperatura ao longo do processo. Na interface, é possível visualizar os valores de temperatura em um “*gauge*”, um botão para ligar/desligar o sistema, um sinalizador que indica quando a lâmpada está ligada, uma caixa de entrada para definir o set-point de temperatura desejada, além de um gráfico que permite a análise da temperatura (na cor preta) e do set-point (na cor vermelha) ao longo do tempo.

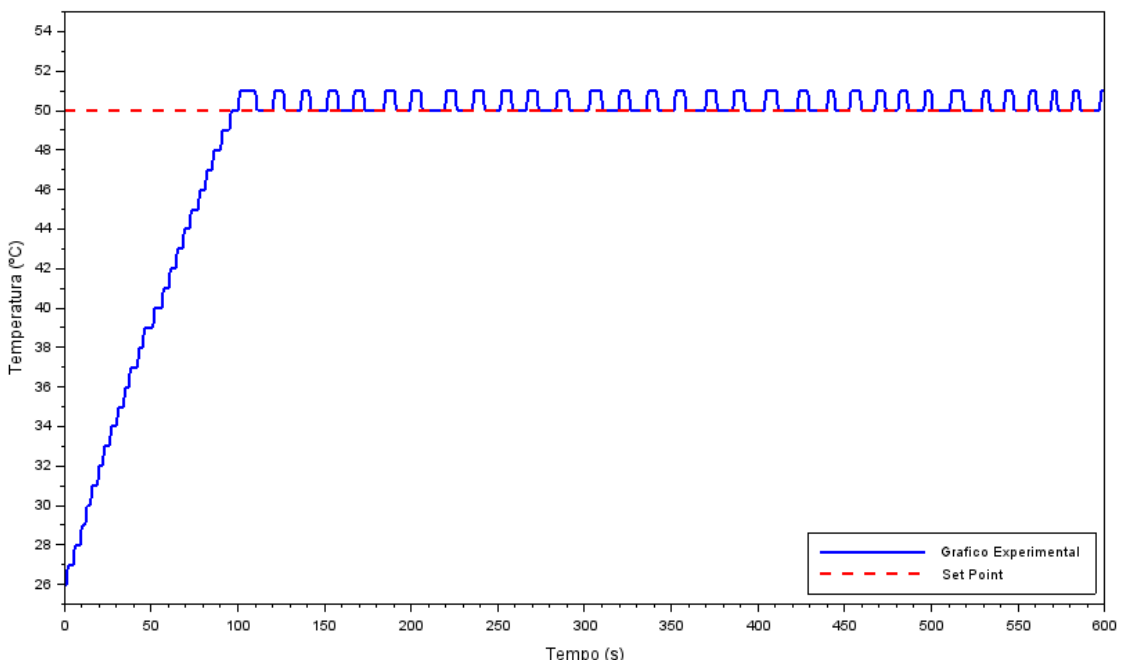


Figura 7 – Comportamento da temperatura (° C) frente ao controle liga-desliga. (Autoria própria, 2024)

No gráfico da Figura 7 (dados exportados para o Scilab) podemos ver o comportamento do controle liga-desliga durante o experimento que teve duração de 600s (0,17h), inicialmente a temperatura definida foi de 50°C levou aproximadamente 111 segundos

para chegar à temperatura desejada, após isso podemos observar que no gráfico o comportamento típico de um controlador liga-desliga onde é alterando o estado da fonte de calor (lâmpada) entre ligada e desligada para manter a temperatura próxima ao set-point.

Observando o gráfico da Figura 7, percebe-se que a temperatura começa nos 26 °C (temperatura ambiente) acionando a lâmpada até atingir a temperatura de referência de 50 °C, quando a temperatura for maior que 50 °C desliga a lâmpada e quando for inferior a 50°C, desliga a lâmpada, contudo observa-se que houve um *off-set* de 1 °C acima da temperatura de referência, refletindo a dinâmica do sensor PT100 e taxa de aquisição dos dados feita no CLP.

Durante os testes experimentais de validação da aplicação SCADA na operação do processo didático foi observado um atraso (latência) no envio / recebimento dos dados de aproximadamente 4 (dois) segundos, sendo um tempo insignificante quando comparado com a dinâmica da planta térmica (minutos).

A implementação prática, utilizando o CLP em conjunto com o sistema supervisório SCADA, permitiu o monitoramento em tempo real dos parâmetros do processo, possibilitando ajustes rápidos e aprimorando a robustez e a segurança do controle.

A bancada didática confeccionada será útil para as práticas de laboratório das disciplinas da área de controle do Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação, destacamos alguns experimentos que serão realizados na bancada: modelagem matemática do processo; caracterização de sensores e atuadores; projeto e sintonia de controladores PID; projeto de controladores avançados e supervisão local / remota de dados. Para complementar a bancada será desenvolvida uma rede de comunicação remota para comunicar com o sistema supervisório SCADA e com outros processos.

Além do protótipo desenvolvido foi confeccionado um guia (manual) descrevendo o passo-passo da programação e ligação dos sensores ao microcontrolador para uso por outros alunos e /ou Instituições de Ensino, o guia está disponível na página eletrônica do Orientador do Trabalho.

4. Conclusões

A confecção da planta didática é uma ferramenta que: (1) permite medições em tempo real das variáveis de decisão; (2) apresenta custo inferior (550,00 R\$) às plantas comerciais (15.000,00 R\$, por exemplo a bancada da WideTech Automação); (3) permite a avaliação da lei de controle liga-desliga experimental para uma planta linear num ambiente com perturbações externas; (4) permite aplicações no processo de ensino-aprendizagem nas disciplinas de Controle do Bacharelado (guia de laboratório). O diferencial do protótipo está na supervisão local dos dados medidos desenvolvido no VTScada que além da gestão do processo, é possível exporta os dados operacionais, gerando um histórico, que pode ser útil para manutenção preventiva da bancada experimental.

Como trabalhos futuros sugere-se: (a) Construção da supervisão remota dos dados (web site); (b) desenvolver um sistema mestre-escravo para integração de outras bancadas didáticas; (c) Sintonia e validação do controle PID (d) implementar na aplicação SCADA sistema de alarmes caso haja um mal funcionamento operacional.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba pela concessão da bolsa de pesquisa ao primeiro autor, por meio do edital nº 03/2024 - Chamada Interconecta IFPB. Ao IFPB Campus Cajazeiras pela disponibilização da estrutura laboratorial durante a condução dos experimentos.

Referências

ALBUQUERQUE, et al. *Bancada didática para controle de nível e temperatura*. Anais. Congresso Técnico-Científico da Engenharia e da Agronomia. Palmas – TO, 2019.

ALEXANDRE, G.B; LIMA, A.M.N. *Estratégia baseada em modelos para prognóstico de falhas em sistemas industriais*. Anais, IX Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012.

ALEXANDRE, G. B. *Controle liga-desliga e supervisão de dados em uma estufa*. Anais. Congresso Técnico-Científico da Engenharia e da Agronomia. Goiânia – GO, 2022.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. *Técnicas de Pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisas, elaboração, análise e interpretação de dados*. 5ª edição. São Paulo: Atlas, 2002.

MALHOTRA, N. *Pesquisa de marketing: foco na decisão*. 3ª Edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

NISE, N. S. *Engenharia de sistemas de controle*. 6ª Edição, Rio de Janeiro: LTC, 2013.

OGATA, K. *Engenharia de controle moderno*. 5ª Edição, Editora Pearson, 2010.

PINHEIRO, J. K. P. *Controle liga-desliga de temperatura e supervisão de dados em uma estufa didática*. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Automação Industrial), Instituto Federal da Paraíba, Cajazeiras-PB, 2023.

SHAW, W. T. *Cybersecurity for industrial SCADA systems*. S.L.: PennWell Books, 2006.

SILVA NETO, A. M & SANTOS, N. A. *Sistemas de controle e supervisão de dados em uma estufa didática*. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Controle e Automação), Instituto Federal da Paraíba, Cajazeiras-PB, 2024.