



DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA DE COLETA DE DADOS DE TEMPERATURA PARA APLICAÇÕES DE MODELAGEM NO ENSINO DE ENGENHARIA

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2024.5094

Autores: CASSIUS ZANETTI RESENDE, BRUNO PAIVA SMIT DE FREITAS, WESLEY COSTA RIBEIRO, BRUNO TOZATO

Resumo: Este estudo se concentra no desenvolvimento de uma plataforma de aquisição de dados em tempo real para o estudo da modelagem de sistemas dinâmicos em processos térmicos. A integração de dados de sensores em tempo real permite uma representação precisa do sistema, facilitando o estudo e aplicação de técnicas de modelagem para otimização de processos industriais. Utilizando o Arduino Uno e sensores de temperatura, a plataforma demonstrou eficácia na coleta de dados e geração de banco de dados, validando a qualidade dos dados. Trabalhos futuros podem envolver a implementação de Aprendizado de Máquina para aprimorar a capacidade preditiva da plataforma, avançando o entendimento e controle de sistemas térmicos.

Palavras-chave: Digital Twin, Modelagem, Aplicações Industriais, PWM, Arduino

DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA DE COLETA DE DADOS DE TEMPERATURA PARA APLICAÇÕES DE MODELAGEM NO ENSINO DE ENGENHARIA

Bruno Paiva Smit de Freitas¹ - bruno.smit@hotmail.com

Wesley Costa Ribeiro¹ - wesleycr@ucl.br

Bruno Tozato¹ - brunotozato@yahoo.com.br

Cassius Zanetti Resende¹ - cassius@ifes.edu.br

*¹Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Serra
Avenida dos Sabiás, 330 - Morada de Laranjeiras
CEP: 29166 - 630 - Serra - ES*

Resumo: *Este estudo se concentra no desenvolvimento de uma plataforma de aquisição de dados em tempo real para o estudo da modelagem de sistemas dinâmicos em processos térmicos. A plataforma permite a geração de bancos de dados de grandezas dinâmicas, especificamente a temperatura, facilitando o estudo de técnicas de modelagem desse tipo de sistema. Além disso, possibilita que os estudantes visualizem em tempo real como as variáveis de temperatura se comportam em um processo dinâmico. A integração de dados de sensores em tempo real proporciona uma representação precisa do sistema, facilitando o estudo e a aplicação de técnicas de modelagem para a otimização de processos industriais. Utilizando o Arduino Uno e sensores de temperatura, a plataforma demonstrou eficácia na coleta de dados e na geração de bancos de dados, validando a qualidade das informações obtidas. Trabalhos futuros podem envolver a implementação de aprendizado de máquina para aprimorar a capacidade preditiva da plataforma, avançando o entendimento e controle de sistemas térmicos.*

Palavras-chave: *Digital Twin, Modelagem, Aplicações Industriais, PWM, Arduino*

1 INTRODUÇÃO

Os processos térmicos são onipresentes na engenharia, abrangendo desde sistemas de aquecimento e resfriamento até processos de transferência de calor em equipamentos industriais. Capturar dados de temperatura e controlá-la ao longo desses processos é essencial para monitorar o desempenho, identificar padrões e otimizar operações (BRITTO e RANGEL, 2008).

Na engenharia contemporânea, a integração de sistemas dinâmicos e o uso de modelos digitais são cruciais para representar com precisão o comportamento de processos em tempo real, especialmente em processos térmicos. Dois conceitos em destaque atualmente são o Gêmeos Digitais (BAO *et al.*, 2019) e o de Sensores Virtuais (VENTURIM *et al.*, 2018), que permitem criar representações virtuais precisas de sistemas físicos complexos. Para alimentar e validar esses modelos digitais para

processos térmicos, a coleta de dados de temperatura desempenha um papel fundamental.

O conceito de Gêmeos Digitais (do inglês, *Digital Twin*) tem sido amplamente adotado em diversos setores industriais como uma ferramenta poderosa para monitorar, prever e otimizar processos. (BAO *et al.*, 2019) destacam a modelagem e operações associadas ao *Digital Twin*, enfatizando sua aplicabilidade e relevância para otimização de processos industriais. Os autores exploram como a implementação eficaz do *Digital Twin* pode contribuir para uma melhor compreensão dos sistemas de produção, bem como para aprimorar a tomada de decisões e o gerenciamento de operações dentro do ambiente de manufatura. O *Digital Twin* representa uma evolução marcante na aptidão das organizações de entender, controlar e aprimorar seus processos operacionais.

O âmbito deste estudo, concentra-se na concepção de um *Digital Twin* para um sistema dinâmico por meio da aquisição de dados em tempo real e técnicas avançadas de modelagem. A integração de dados em tempo real provenientes de sensores e sistemas de monitoramento possibilita uma representação acurada do estado atual do sistema, enquanto técnicas de modelagem, tais como simulação computacional e aprendizado de máquina, permitem a previsão de seu comportamento futuro com base nesses dados. Essa abordagem possibilita a tomada de decisões embasadas e a implementação de estratégias proativas para otimizar a eficiência e a produtividade dos processos industriais.

Diversos estudos têm evidenciado o potencial do *Digital Twin* em uma vasta gama de aplicações industriais. (CIMINO *et al.*, 2019) proporcionam uma análise abrangente das aplicações do Digital Twin na indústria manufatureira, examinando diversas áreas de aplicação do Digital Twin e destacando sua crescente relevância e impacto na otimização de processos de fabricação. Os autores discutem como o uso do Digital Twin pode melhorar a eficiência operacional, a qualidade do produto e a flexibilidade da produção. Além disso, oferecem insights sobre os desafios e oportunidades associados à implementação do Digital Twin em ambientes industriais.

Adicionalmente, (HUANG *et al.*, 2021) apresentam uma análise abrangente sobre a aplicação de *Digital Twin* impulsionados por Inteligência Artificial (IA) na Indústria 4.0. O artigo oferece uma visão detalhada sobre como a IA vem sendo utilizada para aprimorar o *Digital Twin* em contextos de manufatura inteligente e robótica avançada. Os autores abordam uma variedade de tópicos relacionados, incluindo os benefícios, desafios e tendências emergentes nesse campo. A pesquisa fornece *insights* valiosos sobre o papel dessas técnicas na transformação digital da indústria e destaca seu potencial para impulsionar a eficiência e a inovação nas aplicações industriais.

Plataformas como o Kaggle desempenham um papel fundamental na comunidade de ciência de dados, fornecendo conjuntos de dados valiosos e suportando estudos de desenvolvimentos de modelos. No entanto, para aplicações específicas, como o ensino de engenharia focado em processos térmicos, é necessário desenvolver soluções personalizadas que permitam a geração contínua de dados e a realização de testes online (ROMERO e VENTURA, 2020).

Nesse contexto, o desenvolvimento de uma plataforma de coleta de dados de temperatura torna-se interessante como ferramenta educacional para o estudo de desenvolvimento de modelos digitais. Assim este trabalho apresenta uma plataforma que não apenas coleta dados de temperatura, mas também é capaz de gerar um banco de dados dinâmico, refletindo com precisão o comportamento de processos reais em constante evolução.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa caracteriza-se como teórico-experimental, envolvendo uma abordagem integrada que combina elementos teóricos com experimentação prática. Os passos de configuração do hardware e software são detalhados a seguir. Primeiramente, foi configurado o Arduino Uno com o *shield* para interface de I/O. Em seguida, conectou-se a placa XY-Mos ao sistema para controlar a carga. Os sensores de temperatura Dallas 18B20 foram então integrados ao sistema, posicionados para medir a temperatura ambiente e da carga. O código em Python foi desenvolvido para coletar e registrar os dados, ajustando o PWM a cada 5 minutos de forma randômica, permitindo variações na saída e, conseqüentemente, na temperatura da carga.

Para realizar as simulações e coletar dados do processo dinâmico em estudo, foi utilizado um sistema composto por um Arduino Uno Ver.3 como controlador principal (ver Figura 1). Este microcontrolador foi selecionado devido à sua versatilidade e facilidade de programação, tornando-o adequado para aplicações de controle em tempo real.

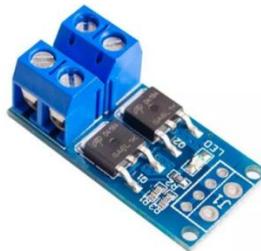
Figura 1 – Microcontrolador.



Fonte: Autores.

Complementarmente, foi empregado um *shield* para interface de I/O, proporcionando uma conexão direta entre o Arduino e os dispositivos periféricos, bem como uma placa XY-Mos para controle da carga (ver Figura 2). Esta última é especialmente útil para a manipulação dinâmica da carga no sistema, permitindo ajustes precisos e rápidos na resposta do sistema às variações de temperatura.

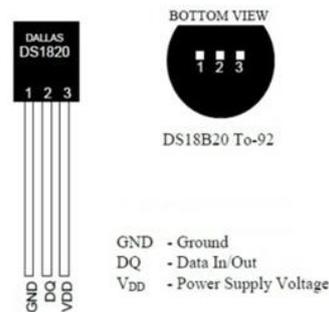
Figura 2 – XY-Mos.



Fonte: Autores.

Além disso, foram utilizados dois sensores de temperatura Dallas 18B20 (ver Figura 3) para monitorar as condições térmicas do ambiente de forma precisa e confiável. Esses sensores são amplamente reconhecidos por sua precisão e estabilidade, garantindo leituras confiáveis mesmo em ambientes industriais adversos.

Figura 3 – Sensor de temperatura Dallas 18B20.



Fonte: Autores.

A integração dos sensores de temperatura ao sistema permitiu a obtenção de dados em tempo real sobre as variações de temperatura no ambiente de estudo. Essas informações foram essenciais para a análise do comportamento dinâmico do sistema e para a validação das simulações realizadas. Em conjunto, o Arduino, os dispositivos periféricos e os sensores de temperatura possibilitaram a realização de simulações precisas e a coleta de dados relevantes para a compreensão do comportamento térmico do sistema em análise.

2.1 Controle da potência dissipada em um resistor

A modulação por largura de pulso é uma técnica amplamente utilizada para controlar a quantidade média de potência entregue a um dispositivo elétrico, como um resistor. No caso de um resistor dissipativo, o ciclo de trabalho do sinal PWM determina a proporção de tempo em que o resistor está ativo (energizado) versus inativo (desenergizado). Ao variar o ciclo de trabalho do PWM, é possível ajustar a potência média fornecida ao resistor, influenciando diretamente a quantidade de calor gerada e, consequentemente, a temperatura do resistor.

O ajuste do ciclo de trabalho do PWM afeta diretamente a potência média aplicada ao resistor. Com um ciclo de trabalho mais alto (maior tempo ativo), a potência média aumenta, resultando em maior dissipação de calor e elevação da temperatura do resistor. Por outro lado, um ciclo de trabalho mais baixo reduz a potência média e, portanto, a dissipação de calor.

2.2 Ambiente de teste e simulação

O funcionamento do sistema baseia-se na interação entre o Arduino Uno e os sensores de temperatura para simular e monitorar o processo dinâmico. A Figura 4 apresenta a placa desenvolvida e seu respectivo esquemático.

No Arduino foi implementado a técnica de modulação por largura de pulso (PWM) para controlar a carga conectada à placa XY-Mos. A cada 5 minutos, o valor do PWM é

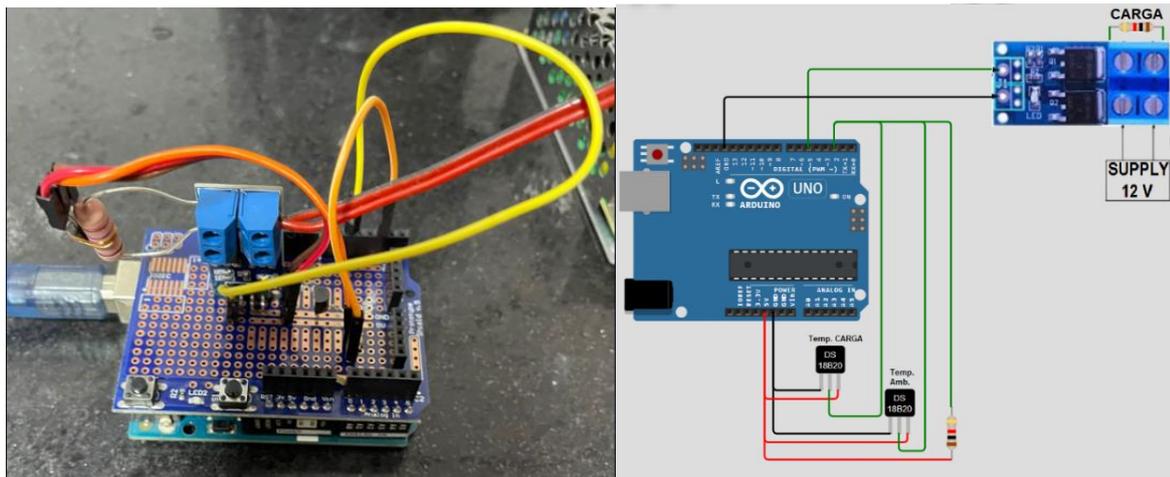
ajustado de forma randômica, permitindo variações na saída e, conseqüentemente, na temperatura da carga. Os sensores de temperatura 18B20, posicionados para medir a temperatura ambiente e da carga, transmitem continuamente os dados ao Arduino.

Por meio de um código em Python (código disponível em github.com/brnsmit/Digital_Twin_Dynamic_Process), esses dados são coletados e registrados em intervalos regulares, proporcionando insights valiosos para a criação do modelo da planta.

O sistema foi projetado com limites de temperatura definidos, onde o PWM é controlado para evitar que a carga ultrapasse os 100°C, garantindo a segurança operacional. Adicionalmente, uma proteção adicional foi implementada para desligar o PWM se a temperatura atingir 105°C, prevenindo danos ao equipamento e ao ambiente circundante.

Essa abordagem contínua de coleta de dados e ajuste do PWM desempenha um papel crucial na criação e validação do *Digital Twin*. Ao fornecer uma representação virtual precisa e em tempo real do processo dinâmico estudado, esse processo de *feedback* contínuo contribui significativamente para a compreensão e aperfeiçoamento do comportamento térmico do sistema em questão.

Figura 4 – Planta de teste e esquemático.



Fonte: Autores.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O sistema desenvolvido demonstrou eficácia na coleta de dados de temperatura em tempo real e na geração de um banco de dados dinâmico, essencial para alimentar modelos digitais precisos e em tempo real. O banco de dados, composto por 5000 amostras, foi gerado com um intervalo de aquisição de aproximadamente 1 segundo. A alteração do *setpoint* da saída PWM como já mencionado é realizada de forma randômica a cada 5 minutos, permitindo observar a estabilização da temperatura na carga.

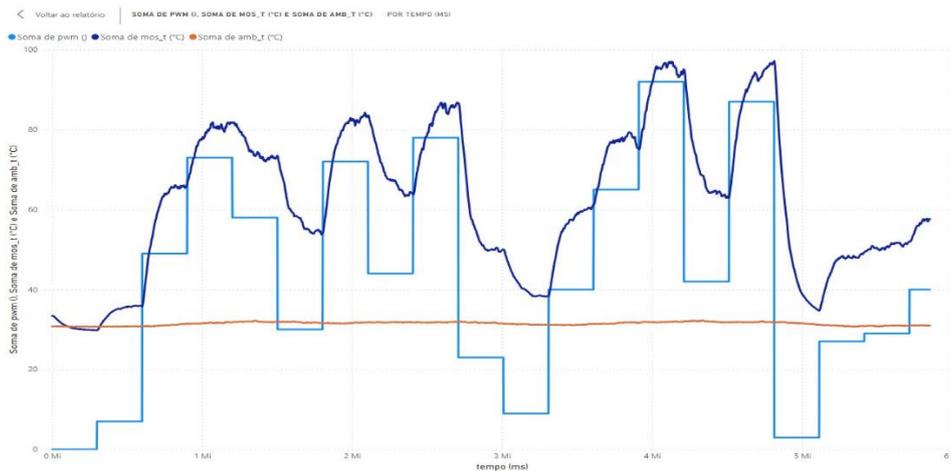
Abaixo na Figura 5 pode-se ver as 10 primeiras linhas de dados geradas no banco de dados em arquivo .CSV e na Figura 6 seu respectivo gráfico que mostra a saída do PWM, a temperatura da carga e a temperatura ambiente. Observa-se que o banco de dados gerado possui as mesmas características daqueles encontrados em plataformas de bancos de dados como o Kaggle.

Figura 5 – Gráfico gerado através do banco de dados.

tempo (ms)	pwm ()	amb_t (°C)	mos_t (°C)
1631,0	0,30.75	33.38	
2631,0	0,30.75	33.38	
3633,0	0,30.75	33.38	
4633,0	0,30.75	33.38	
5634,0	0,30.81	33.38	
6634,0	0,30.81	33.38	
7634,0	0,30.81	33.38	
8636,0	0,30.81	33.38	
9636,0	0,30.81	33.31	
10638,0	0,30.81	33.31	

Fonte: Autores.

Figura 6 – Gráfico gerado através do banco de dados.



Fonte: Autores.

3.1 Implicações Educacionais

A plataforma desenvolvida possui um grande potencial para ser utilizada como uma ferramenta educacional no ensino de engenharia. Ela permite a geração de bancos de dados de grandezas dinâmicas, especificamente a temperatura, para o estudo de técnicas de modelagem desse tipo de sistema. Além disso, ela possibilita que os estudantes visualizem em tempo real como as variáveis de temperatura se comportam em um processo dinâmico, além de demonstrar como os ajustes no PWM afetam o sistema. Isso promove uma compreensão profunda dos conceitos de controle térmico e modelagem de sistemas. Dessa forma, a plataforma não apenas facilita o aprendizado teórico, mas também oferece uma experiência prática valiosa, contribuindo significativamente para a formação de profissionais mais bem preparados para enfrentar desafios reais em suas futuras carreiras.

4 CONCLUSÕES

A integração de sistemas dinâmicos e a aplicação de modelos digitais têm desempenhado um papel crucial na engenharia contemporânea. Este trabalho concentrou-se na concepção de uma plataforma para a aquisição de dados em tempo real, utilizando sensores de temperatura e a técnica de modulação por largura de pulso (PWM) para coleta precisa de dados e controle do sistema.

A pesquisa combinou uma abordagem teórica com experimentação prática, empregando um Arduino Uno e sensores de temperatura para monitorar o processo dinâmico. A coleta contínua de dados em tempo real, juntamente com o ajuste do PWM para controlar a carga, possibilitou a geração de um banco de dados dinâmico, refletindo o comportamento do sistema em constante evolução.

Os resultados demonstraram a eficácia do sistema na coleta de dados e na geração de um banco de dados dinâmico com 5000 amostras. Os gráficos gerados apresentaram características similares aos encontrados em plataformas de bancos de dados, validando a qualidade e relevância dos dados obtidos.

Considerando as contribuições deste trabalho, várias oportunidades para trabalhos futuros surgem naturalmente. Uma área de interesse seria a implementação prática do sistema através da aplicação de técnicas avançadas de Aprendizado de Máquina para a modelagem do sistema, o que poderia aprimorar ainda mais a precisão e a capacidade preditiva do Digital Twin. Isso permitiria uma otimização mais eficiente e adaptativa dos processos industriais, ampliando significativamente nosso entendimento e controle sobre sistemas térmicos. Em suma, este estudo contribui para o avanço do entendimento e das técnicas de modelagem de sistemas dinâmicos.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal do Espírito Santo, por ofertar ensino público, gratuito e de qualidade. Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Controle e Automação (ProPECAut) do IFES Campus Serra, em especial à disciplina de Tópicos Especiais em Desenvolvimento de Aplicações Industriais, cujos conhecimentos adquiridos foram essenciais para o desenvolvimento e aprimoramento deste estudo.

Este trabalho foi apoiado pela CAPES/FAPES (processo: 2021-CFT5C, nº FAPES 133/2021) no âmbito do PDPG (Programa de Desenvolvimento da Pós-Graduação - Parcerias Estratégicas nos Estados).

REFERÊNCIAS

BAO, Jinsong et al. The modelling and operations for the digital twin in the context of manufacturing. **Enterprise Information Systems**, v. 13, n. 4, p. 534-556, 2019.

BRITTO, Jaidles Marques; RANGEL, Maria do Carmo. Processos avançados de oxidação de compostos fenólicos em efluentes industriais. **Química Nova**, v. 31, p. 114-122, 2008.

CIMINO, Chiara; NEGRI, Elisa; FUMAGALLI, Luca. Review of digital twin applications in manufacturing. **Computers in industry**, v. 113, p. 103130, 2019.

HUANG, Ziqi et al. A survey on AI-driven digital twins in industry 4.0: Smart manufacturing and advanced robotics. **Sensors**, v. 21, n. 19, p. 6340, 2021.

ROMERO, Cristobal; VENTURA, Sebastian. Educational data mining and learning analytics: An updated survey. **Wiley interdisciplinary reviews: Data mining and knowledge discovery**, v. 10, n. 3, p. e1355, 2020.

VENTURIM, Rudson Silva et al. Desenvolvimento de um sensor virtual para o monitoramento de índice Wobbe na planta do LTQ da AcerloMittal Tubarão. **ABM Proc., São Paulo: Editora Blucher**, p. 149-57, 2018.

DEVELOPMENT OF A DIGITAL TWIN FOR DYNAMIC TEMPERATURE MODELING AS A LEARNING TOOL FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS

Abstract: *This study focuses on the development of a real-time data acquisition platform for the study of dynamic system modeling in thermal processes. The platform allows for the generation of databases of dynamic quantities, specifically temperature, facilitating the study of modeling techniques for this type of system. Additionally, it enables students to visualize in real-time how temperature variables behave in a dynamic process. The integration of real-time sensor data provides an accurate representation of the system, facilitating the study and application of modeling techniques for the optimization of industrial processes. Using the Arduino Uno and temperature sensors, the platform demonstrated effectiveness in data collection and database generation, validating the quality of the obtained information. Future work may involve the implementation of machine learning to enhance the predictive capabilities of the platform, advancing the understanding and control of thermal systems.*

Keywords: *Digital Twin, Modeling, Industrial Applications, PWM, Arduino.*

