

APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS APLICADA A SISTEMAS DIGITAIS: AUTOMAÇÃO DO CONTROLE DE TEMPERATURA DE UM FORNO ELÉTRICO POR MEIO DE UMA MÁQUINA DE ESTADOS FINITOS

JOYCE R. DE SOUSA (IFPB, Campus Cajazeiras), BRENO R. MACEDO (IFPB, Campus Cajazeiras), LEANDRO H. DE SOUSA SILVA (IFPB, Campus Cajazeiras), EDLEUSOM S. DA SILVA (IFPB, Campus Cajazeiras).

E-mails: joyce.rufino@academico.ifpb.edu.br, breno.rodrigues@academico.ifpb.edu.br, leandro.silva@ifpb.edu.br, edleusom.silva@ifpb.edu.br.

Área de conhecimento:(Tabela CNPq): 1.03.03.04-9 Sistemas de Informação.

Palavras-Chave: Controle térmico; circuitos digitais; flip-flops; máquina de estados finitos; lógica digital.

1. Introdução

A aprendizagem ativa e contextualizada é fundamental para o desenvolvimento de competências em Engenharia, promovendo a integração entre teoria e prática. Nesta perspectiva, a Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL) constitui uma abordagem com potencial para engajar os estudantes em desafios reais, incentivando a autonomia, o pensamento crítico e a colaboração (Boelt; Kolmos; Holgaard, 2022). O presente projeto utiliza um estudo de caso — o controle de temperatura em um forno elétrico — como base para conduzir os alunos por todo o ciclo de projeto de uma máquina de estados finitos, desde a modelagem teórica até a implementação física.

O controle preciso de temperatura em fornos elétricos é um requisito essencial para a qualidade dos produtos industriais. Segundo Kunieda (2019), variações térmicas podem alterar significativamente as propriedades dos materiais, impactando diretamente na performance e na segurança dos processos de fabricação. Nesse contexto, o desperdício de matéria-prima está diretamente vinculado à otimização do controle de temperatura, uma vez que o ajuste inadequado desses parâmetros pode afetar significativamente na qualidade e segurança do produto final, podendo resultar em danos ambientais e financeiros. Para Martins (2013), pode-se afirmar que, em se tratando de produção a nível industrial, os desperdícios que podem ocorrer ao longo dos processos de fabricação são diversos, desde matéria-prima até recursos financeiros. Contudo, o desperdício de matéria-prima pode ser considerado o mais urgente deste setor e também o mais passivo de ser estudado, uma vez que impacta diretamente no fluxo fabril e na quantidade do produto acabado.

A partir desse problema concreto, os estudantes foram desafiados a projetar uma solução digital utilizando circuitos integrados e flip-flops, consolidando conceitos de eletrônica digital, lógica sequencial e instrumentação. Este artigo apresenta o desenvolvimento de um dispositivo experimental simples para controle da temperatura de um forno elétrico, por meio da implementação de uma máquina de estados finitos utilizando circuitos integrados aplicados conforme as especificações do Kit didático Datapool (DATAPOOL, 2023).

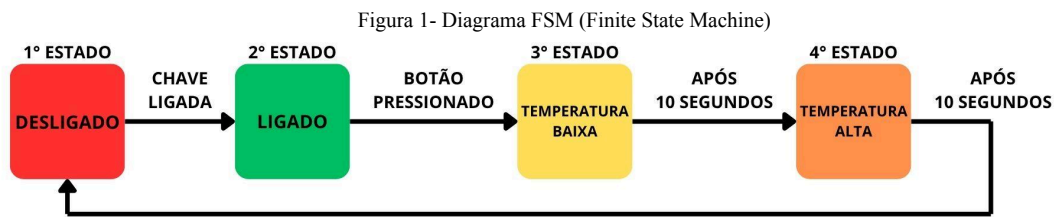
2. Materiais e Métodos

A Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL) foi adotada como eixo metodológico, desafiando os alunos a desenvolverem um sistema digital de controle térmico para forno elétrico. O processo envolveu a formação de grupos, definição de requisitos, pesquisa teórica, modelagem por meio de diagramas de estados finitos, implementação prática e testes de validação. Essa abordagem promove um ciclo contínuo de investigação, colaboração e reflexão crítica, alinhando-se à perspectiva de Borochovicus e Tassoni (2021), que destacam o potencial da PBL no desenvolvimento de competências cognitivas e colaborativas.

De acordo com Tocci e Widmer (2011), um sistema digital é definido como um conjunto de dispositivos associados que operam com sinais discretos, ou seja, que assumem valores específicos em períodos de tempo determinados. Essa característica marcante diferencia os sistemas digitais dos analógicos, que trabalham com sinais contínuos. Utilizando conceitos técnicos sobre sistemas digitais, o presente artigo propõe uma alternativa simples para o controle de temperatura, utilizando flip-flops como componente principal para a construção do circuito lógico. Para isso, circuitos integrados (ICs) foram empregados em conjunto com flip-flops, permitindo a idealização e simulação computacional do circuito. Os materiais utilizados neste experimento incluem um Kit Didático Datapool e os circuitos integrados IC 7408 (porta AND), IC 7432 (porta OR), IC 4070 (porta XOR), IC 74LS112 (Flip-Flop JK) e IC 4017 (Contador).

Com base nos princípios de sistemas digitais, é possível desenvolver um diagrama de estados para projetar uma máquina de estados finitos— um modelo com número limitado de estados, no qual o sistema muda de acordo com as entradas e condições definidas —, desta forma, assegurando uma montagem estruturada e alinhada à sua finalidade. A Figura 1 ilustra o funcionamento do dispositivo através de um diagrama FSM (*Finite State Machine*). A partir do primeiro estado, Desligado, o sistema aguarda a ativação de uma chave para passar ao segundo estado, Ligado. Neste estado, o sistema aguarda um sinal de ativação vindo do botão, que faz com que ele mude para o terceiro estado, Temperatura Baixa, no qual a resistência é acionada em uma potência mais baixa, promovendo um aquecimento controlado, permanecendo assim até receber um sinal do temporizador. Esse sinal faz com que o terceiro estado seja

finalizado e o sistema inicie o quarto estado, Temperatura Alta, no qual a resistência é acionada na potência máxima, promovendo um aquecimento mais intenso, que permanece ativo durante o período de 10 segundos, fazendo com que o sistema retorne ao segundo estado possibilitando que possa repetir o ciclo enquanto a chave estiver ativa.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

3. Resultados e Discussão

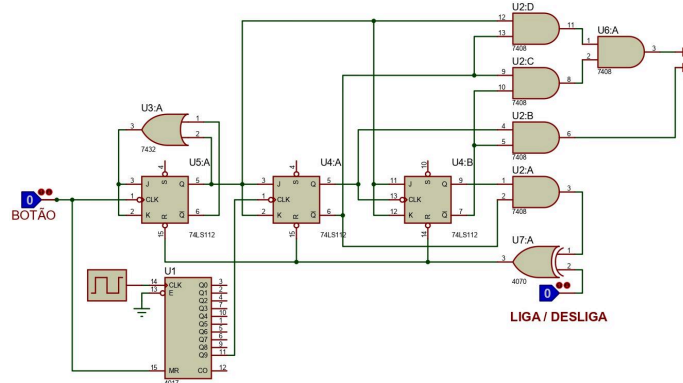
Após a criação do diagrama FSM, elaborou-se a tabela verdade das transições de estado em função das entradas do circuito (Tabela 1). Os estados foram modelados em dois bits, cada bit representado pela saída de um flip-flop (Q1 e Q2). Em seguida, foram desenvolvidas as equações booleanas e simulou-se o circuito lógico (Figura 2). O clock dos componentes síncronos foi ajustado para 1 Hz, gerando pulsos de 1 segundo. Inicialmente, com o circuito desligado, o sistema permanece inativo até o acionamento da chave e do botão. Atendidos esses requisitos, Q0 e S0 são ativados; Q1 aguarda o sinal do contador. Com a chegada desse sinal, Q1 e S1 são ativados e S0 desativado. No pulso seguinte, Q1 e S1 são desativados, Q2 é ativado e o sistema retorna à espera de um novo sinal do botão.

Tabela 1 - Tabela verdade de estados e transições do sistema lógico

	CHAVE	BOTÃO	Q0	TEMPO	Q1	Q2	S0	S1
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	-	0	-	0	0	0	0
2	1		1	-	0	0	1	0
3	1	-	1		1	0	0	1
4	1	-	1	-	0	1	0	0
5	1	-	0	-	0	0	0	0

Fonte: Elaborada pelos autores (2025)

Figura 2 - Diagrama Esquemático Lógico.

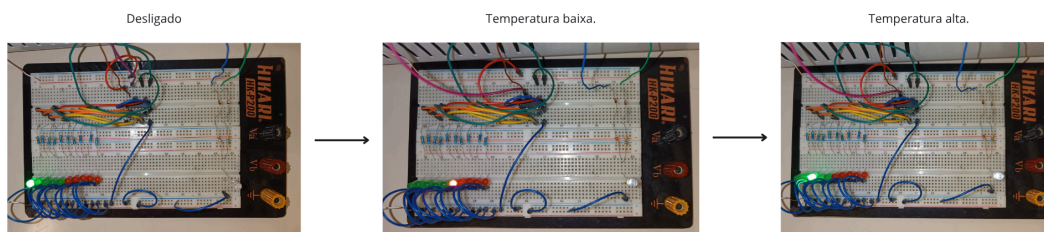


Fonte: Elaborada pelos autores (2025)

O CI 4017 é um contador Johnson decimal que utiliza uma cadeia de flip-flops para ativar, de forma sequencial e cíclica, uma entre dez saídas digitais a cada pulso recebido no pino de clock. Com um sinal de 1 Hz, cada saída é ativada por um segundo, e a décima saída é acionada a cada 10 pulsos, tornando-o ideal para aplicações de temporização e controle sequencial.

Então foi feita uma prototipagem para validação do circuito principal através de uma simulação, para a montagem prática, utilizou-se uma matriz de contatos conectada em paralelo ao Datapool, possibilitando a visualização da contagem temporal por meio de LEDs indicadores. Complementando o sistema, implementou-se um LED adicional com duas resistências distintas, criando variações de brilho para simular graficamente as mudanças de temperatura, como destacado na Figura 3. Esta abordagem eficiente resultou na conclusão bem-sucedida do projeto.

Figura 3 - Diagrama de estados experimentais.



Fonte: Elaborada pelos autores (2025)

4. Considerações Finais

Este trabalho demonstrou a eficácia do ensino prático em sistemas digitais ao mobilizar alunos na construção de uma máquina de estados finitos para controle de temperatura em forno elétrico, integrando teoria e aplicação em um contexto de aprendizagem baseada em problemas. A atividade permitiu consolidar conceitos de lógica sequencial e instrumentação, além de evidenciar a importância da precisão térmica para a eficiência operacional e redução de desperdícios. Para avanços futuros, sugere-se o desenvolvimento de uma interface de controle temporal que una de forma intuitiva a gestão de temperatura e de tempo, ampliando a flexibilidade e a aplicabilidade do sistema em ambientes didáticos e industriais.

Agradecimentos

Agradecemos ao IFPB - *Campus Cajazeiras*.

Referências

- BOELT, A. M.; KOLMOS, A.; HOLGAARD, J. E. **Literature review of students' perceptions of generic competence development in problem-based learning in engineering education**. *European Journal of Engineering Education*, v. 47, n. 6, p. 1399–1420, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/03043797.2022.2074819>. Acesso em: 1 jun. 2025.
- BOROCHOVICIUS, Eli; TASSONI, Elvira Cristina Martins. **Aprendizagem baseada em problemas: uma experiência no ensino fundamental**. *Educação em Revista*, Belo Horizonte, v. 37, e20706, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-469820706>. Acesso em: 1 jun. 2025.
- DATAPOOL. **Kit didático para eletrônica digital e lógica sequencial**. Versão 2.1. São Paulo: LabEletrônica, 2023.
- KUNIEDA, L. V.; GARCIA, P. W.; GENARI, H. F. G.; CONSONNI, D. Controle de temperatura de um forno elétrico a resistência utilizando o microcontrolador Arduino. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA – COBENGE, 47., 2019, Fortaleza. *Anais [...]*. Fortaleza: Associação Brasileira de Educação em Engenharia, 2019. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/354794562>. Acesso em: 14 mar. 2025.
- MARTINS, Gleison Hidalgo; LIMA, Tatiane Santos; TIGRINHO, Carlos Eduardo; KOSSOWSKI, Lorete. **Projeto de redução do desperdício de matéria-prima: estudo de caso na indústria de embalagens de papel no Brasil**. *Revista de Gestão e Projetos - GeP*, São Paulo, v. 4, n. 3, p. 141-167, set./dez. 2013. Disponível em: <https://periodicos.uninove.br/gep/article/view/10526>. Acesso em: 14 mar. 2025.
- TOCCI, Ronald J.; WIDMER, Neal S.; MOSS, Gregory L. **Sistemas digitais: princípios e aplicações**. 11. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.