

Otimização do Consumo Elétrico em Salas de Aula: Estudo de Caso no IFPB

Caio H. V. Alves (IFPB, Campus Cajazeiras), Gustavo S. Lira (IFPB, Campus Cajazeiras), Leandro H. S. Silva (IFPB, Campus Cajazeiras), Suelio F. Carolino (IFPB, Campus Cajazeiras), Raphaell M. Sousa (IFPB, Campus Cajazeiras) e Abinadabe S. Andrade (IFPB, Campus Cajazeiras).

E-mails: caio.vieira@academico.ifpb.edu.br, gustavo.sarmento@academico.ifpb.edu.br, leandro.silva@ifpb.edu.br, suelio.carolino@ifpb.edu.br, raphaell.sousa@ifpb.edu.br e abinadabe.andrade@ifpb.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.04.00.00-7 Engenharia Elétrica

Palavras-chave: ciência de dados; informática pública; internet das coisas ; eficiência energética.

1. Introdução

Com o avanço da automação, setores como indústria, saúde, segurança, agricultura, educação, construção civil e energia passaram a adotar sistemas inteligentes para aumentar a eficiência e a produtividade (Goldberg, 2012). Recentemente, a automação residencial se popularizou com o uso de plataformas baseadas em Internet das Coisas (*IoT*), que utilizam protocolos como Wi-Fi, Bluetooth, Z-Wave e Zigbee (Flamini et al., 2022). Nesse contexto, a automação também tem sido aplicada em ambientes escolares, incentivando estudos sobre sua implementação em salas de aula (Singh et al., 2015). Embora sistemas autônomos sejam amplamente utilizados na indústria (Flamini et al., 2023), seu uso em contextos educacionais também demonstra potencial, especialmente para melhorar a eficiência e o uso de recursos, como energia elétrica (Ahmed et al., 2024). As salas de aula inteligentes combinam dispositivos *IoT* e práticas pedagógicas interativas, promovendo ambientes mais eficientes.

No Instituto Federal da Paraíba – Campus Cajazeiras, destaca-se o desafio do controle do sistema de climatização, atualmente realizado de forma manual por servidores e alunos. Esse modelo é propenso a desperdícios, com aparelhos ligados em salas vazias. Em 2024, a conta de energia representou cerca de 15% do orçamento do campus.

Diante disso, o presente projeto desenvolveu e avaliou um sistema autônomo de controle de ar-condicionado, baseado em variáveis como presença e estado da porta. A automação demonstrou potencial para reduzir o consumo em cerca de 20%, reforçando os benefícios da tecnologia na otimização dos recursos institucionais. O sistema também poderá servir de base para futuras pesquisas com técnicas de aprendizado de máquina.

2. Materiais e métodos

O sistema foi desenvolvido para atender aos seguintes requisitos principais:

- Monitoramento do ambiente: Coletar dados sobre ocupação, temperatura, umidade e estado das portas para otimizar o uso dos equipamentos.
- Controle automatizado dos equipamentos: Acionar e desligar dispositivos com base nas condições do ambiente, reduzindo o consumo energético.
- Integração com uma plataforma de gestão centralizada: Permitir monitoramento remoto, armazenamento de dados históricos e visualização dos parâmetros do sistema em tempo real.

Com base nesses requisitos, foram selecionados dispositivos comerciais de automação residencial, incluindo sensores inteligentes, relés inteligentes e controles remotos smart. A Figura 1 apresenta os dispositivos selecionados e suas respectivas funcionalidades.

Após a instalação dos dispositivos nas salas de aula, foi criada uma rede de comunicação baseada em Wi-Fi privada e protocolo Zigbee, com o *Home Assistant* instalado em uma máquina virtual para gerenciar o sistema. Sensores de porta, temperatura e umidade utilizam Zigbee para economia de energia, sendo integrados via hub à rede Wi-Fi. Os dados coletados são armazenados no banco *InfluxDB*, e visualizados por meio de dashboards dinâmicos no *Grafana*, permitindo monitoramento eficiente e flexível da infraestrutura implantada. A Figura 2 ilustra a infraestrutura de comunicação e tecnologias utilizadas no projeto.

A etapa seguinte envolveu o monitoramento das salas em dois períodos: "Sem Automação", para identificar padrões de consumo e desperdícios, e "Com Automação", com os sistemas ativos para avaliar ganhos em eficiência energética. As automações foram implementadas com a extensão *Node-Red*, integrada ao *Home Assistant*, permitindo criar fluxos lógicos de controle baseados nos dados dos sensores e atuadores inteligentes, organizados em três cenários principais.

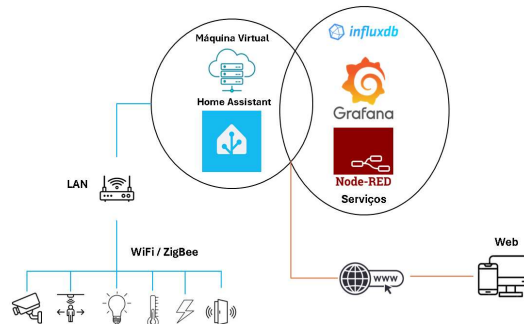
- Se a porta estiver aberta, houver pessoas na sala e o ar-condicionado estiver ligado: O sistema aguarda 5 minutos para verificar se a porta será fechada. Caso a porta permaneça aberta após esse período, o ar-condicionado é desligado para evitar desperdício de energia.
- Se a porta estiver fechada, houver pessoas na sala e o ar-condicionado estiver desligado: O sistema aguarda 1 minuto para confirmar que a porta continua fechada e que ainda há presença de pessoas. Se essas condições persistirem, o ar-condicionado é ligado automaticamente.
- Se a porta estiver fechada, não houver pessoas na sala e o ar-condicionado estiver ligado: O sistema aguarda 5 minutos para verificar se alguém retorna à sala. Caso não haja movimentação após esse tempo, o ar-condicionado é desligado.

Figura 1 – Dispositivos utilizados nas salas.

Dispositivo	Funcionalidade	Fotos
Sensor de Temperatura	Medições de temperatura e umidade	
Sensor de Presença	Capaz de detectar movimentações e micro-ondas mecânicas.	
Sensor de Porta/Janela	Medições sobre o estado da porta e janela.	
Hub ZigBee	Responsável pela comunicação dos dispositivos ZigBee a rede Wifi.	
Relé Inteligente	Acionamento da iluminação de forma física e remota	
Disjuntor Inteligente	Dispositivo de segurança e monitoramento do consumo do aparelho.	
Smart Ir	Controle remoto inteligente capaz de acionar qualquer dispositivo infravermelho.	
Câmera Wifi	Realizar a segurança dos dispositivos instalados nos ambientes educacionais.	

Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 2 – Infraestrutura de comunicação.



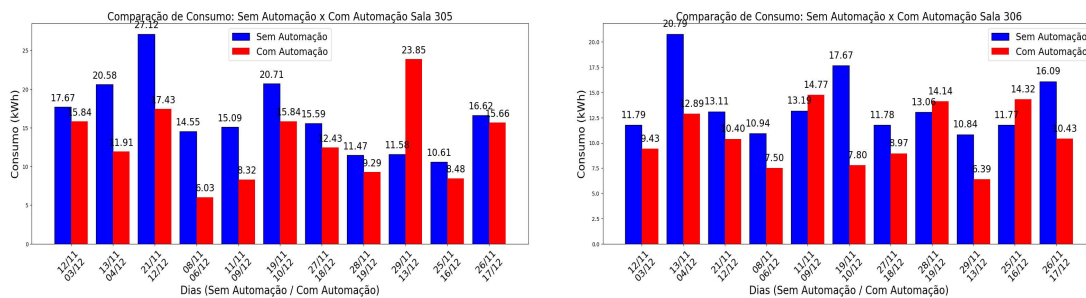
Fonte: Autoria própria (2025)

3. Resultados e discussão

O objetivo central deste estudo foi avaliar se a automação reduz o consumo de energia em salas de aula e, caso positivo, quantificar essa economia. Para isso, foram comparados os períodos "Sem Automação" e "Com Automação", analisando o comportamento dos equipamentos de climatização e identificando padrões de uso ineficientes.

Após a coleta de dados dos períodos "Sem Automação" e "Com Automação", foram selecionados pares de dias letivos semelhantes, excluindo feriados, para garantir uma comparação justa. Em cada período, foram analisados onze dias, com os resultados apresentados em gráficos de barras (Figura 3). Na sala 305, observou-se redução no consumo energético em dez dos onze dias com automação; na sala 306, essa redução ocorreu em oito dias, indicando uma tendência de maior eficiência com o uso dos sistemas automatizados.

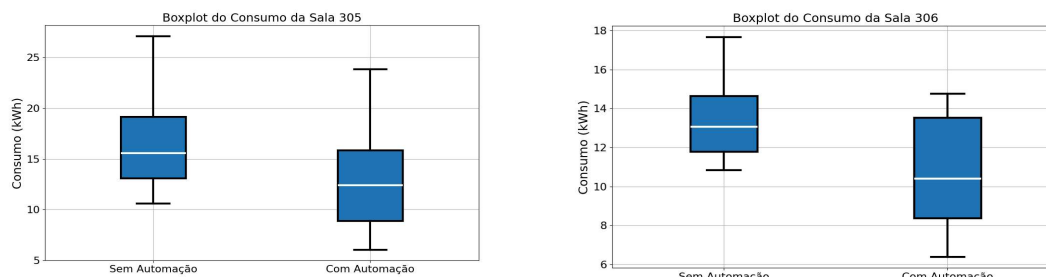
Figura 3 – Comparação do consumo de energia diário sem e com automação. À esquerda, sala 305; à direita, sala 306.



Fonte: Autoria própria (2025)

Para complementar a análise, foram utilizados boxplots Figura 4 para representar estatisticamente a distribuição do consumo energético. Em seguida, realizou-se uma comparação entre os pares de dias letivos, permitindo calcular a diferença absoluta e o percentual de economia obtida com a automação. Os resultados, apresentados na Tabela 1, evidenciam uma redução significativa no consumo energético.

Figura 4 – Boxplots do consumo energético no período monitorado: à esquerda, sala 305; à direita, sala 306.



Fonte: Autoria própria (2025)

Tabela 1 – Resumo do consumo de energia nas salas monitoradas.

Cenário	Sala 305	Sala 306
Consumo sem automação	181,58 kWh	151,02 kWh
Consumo com automação	145,08 kWh	117,02 kWh
Diferença absoluta	36,51 kWh	34,00 kWh
Economia percentual	20,11%	22,51%

Para validar o impacto da automação no consumo energético, foram realizados testes estatísticos. O teste de Shapiro-Wilk indicou que os dados "Sem Automação" não seguem uma distribuição normal ($p = 0,0099$; $p < 0,05$), justificando a aplicação de um teste não paramétrico. Sendo assim, foi utilizado o teste de Wilcoxon, tendo as seguintes hipóteses: Hipótese Nula - As medianas do consumo energético nos períodos "Sem Automação" e "Com Automação" são estatisticamente iguais; Hipótese Alternativa - As medianas do consumo energético nos períodos "Sem Automação" e "Com Automação" são estatisticamente diferentes.

O resultado do teste de Wilcoxon ($p = 0,0019$) indicou uma diferença estatisticamente significativa entre os períodos, sugerindo que a automação teve um efeito relevante no consumo energético, possivelmente resultando em sua redução.

5. Considerações finais

Este estudo demonstrou que a automação baseada em *IoT*, com uso do *Home Assistant* e comunicação via Wi-Fi e Zigbee, pode otimizar a eficiência energética em salas de aula, alcançando uma economia média de 20%. A solução, além de reduzir custos operacionais, é adaptável a outros setores e pode ser aprimorada com aprendizado de máquina e manutenção preditiva. Assim, o trabalho oferece uma base sólida para futuras pesquisas em automação inteligente e uso sustentável da energia em ambientes institucionais. Para projeções futuras, propõe-se a incorporação de técnicas de aprendizado de máquina, permitindo ao sistema identificar padrões de uso e tomar decisões mais inteligentes.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Campus Cajazeiras, pelos recursos de laboratório disponibilizados para execução do projeto.

Referências

- AHMED, M.; ALI, A.; MOHAMED, A.; AFWAH, A. Smart classroom automation system. *International Journal of Electrical and Electronics Engineering*, v. 11, p. 131–138, 2024.
- FLAMINI, A.; CIURLUINI, L.; LOGGIA, R.; MASSACCESI, A.; MOSCATIELLO, C.; MARTIRANO, L. A prototype of low-cost home automation system for energy savings and living comfort. *IEEE Transactions on Industry Applications*, v. 59, n. 4, p. 4931–4941, jul./ago. 2023.
- GOLDBERG, K. What is automation? *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, v. 9, n. 1, p. 1–2, jan. 2012.
- SINGH, S. P.; KUMAR, A.; SINGH, A.; JAIN, K. Smart and intelligent next generation classrooms over cloud. In: *IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON MOOCS, INNOVATION AND TECHNOLOGY IN EDUCATION (MITE)*, 3., 2015. Anais [...]. Bhubaneswar: IEEE, 2015. p. 273–277.