

Automação para Eficiência Energética em Salas de Aula: Um Estudo de Caso no IFPB

**Caio Henrique Vieira Alves¹, Suelio Fernandes Carolino¹,
Abinadabe Silva Andrade¹, Raphaell Maciel de Sousa¹,
Leandro Honorato de Souza Silva^{1,2}**

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba –
Campus Cajazeiras (IFPB)

58.900-000 – Cajazeiras – PB – Brazil

²Universidade de Pernambuco –

Escola Politécnica de Pernambuco (UPE/POLI)
50.740-540 – Recife – PE – Brazil

{caio.vieira, suelio.carolino, abinadabe.andrade}@ifpb.edu.br

{raphaell.sousa, leandro.silva}@ifpb.edu.br

Abstract. *Educational automation has emerged as a strategy for energy efficiency, addressing one of the segments of Smart Classrooms. This study investigates the reduction of electricity consumption in classrooms through an autonomous system based on the Internet of Things (IoT). Sensors for presence, door opening, temperature, humidity, and energy consumption were used, along with actuators such as smart breakers and smart IR devices. Communication occurs via private Wi-Fi and Zigbee, ensuring local operation. Data is stored in InfluxDB, and the automation was developed using Node-Red. Comparative tests indicated an energy savings of approximately 20%, confirmed by the Wilcoxon test (p-value = 0.0019).*

Resumo. *A automação educacional tem se destacado como estratégia para eficiência energética, abordando um dos segmentos de Smart Classroom. Este estudo investiga a redução do consumo elétrico em salas de aula por meio de um sistema autônomo baseado em Internet das Coisas (IoT). Foram utilizados sensores de presença, abertura de portas, temperatura, umidade e consumo energético, além de atuadores como disjuntores smart e smart IR. A comunicação ocorre via Wi-Fi privado e Zigbee, garantindo funcionamento local. Os dados são armazenados em InfluxDB e a automação foi desenvolvida em Node-Red. Os testes comparativos indicaram economia de energia da ordem de 20%, confirmada pelo teste de Wilcoxon (p-value = 0.0019).*

1. Introdução

Com o avanço da tecnologia de automação, diversos setores, como indústria, saúde, segurança, agricultura, educação, construção e energia, passaram a incorporar sistemas inteligentes para aumentar a eficiência e a produtividade [Goldberg 2012]. Mais recentemente, a automação residencial tornou-se acessível e popular, permitindo a integração de dispositivos inteligentes por meio de plataformas de Internet das Coisas

(IoT), utilizando protocolos de comunicação como WiFi, Bluetooth, Z-Wave e Zigbee [Flamini et al. 2022]. Nesse contexto, a automação também tem sido aplicada a ambientes escolares, impulsionando pesquisas voltadas à sua integração em salas de aula [Singh et al. 2015].

Embora os sistemas autônomos com foco em monitoramento e controle sejam amplamente utilizados no meio industrial [Flamini et al. 2023], também podem ser implementados em outros ambientes visando eficiência, qualidade e retorno do investimento. As salas de aula inteligentes, além de integrarem tecnologias que promovem aprendizado interativo, utilizam dispositivos IoT para criar ambientes didáticos e inteligentes. Contudo, essas salas têm uma abordagem voltada tanto para a educação quanto para a eficiência no uso de recursos [Ahmed et al. 2024].

Um dos problemas enfrentados em ambientes educacionais é o controle do sistema de climatização das salas de aula. Atualmente, no Instituto Federal da Paraíba - *Campus* Cajazeiras, cada sala conta com um controle remoto para os aparelhos de ar-condicionado, sendo que o controle desses equipamentos é realizado de forma parcial por servidores e discentes da instituição. No entanto, esse método de funcionamento está sujeito ao desperdício de energia, como no caso de equipamentos que permanecem ligados em salas vazias. Em 2024, a despesa com energia elétrica no *Campus* representou cerca de 15% do orçamento empenhado do campus.

Diante disso, o projeto objetivou desenvolver e avaliar um sistema autônomo com foco em eficiência energética, capaz de controlar os equipamentos de ar-condicionado com base em variáveis como presença e estado da porta. A automação de equipamentos elétricos em ambientes escolares tem o potencial de promover reduções significativas no consumo de energia elétrica [Gupta et al. 2015]. Os experimentos realizados demonstraram uma economia da ordem de 20%, evidenciando o efeito positivo da automação na redução do consumo energético. Esses resultados destacam o potencial da tecnologia para otimizar o uso de recursos institucionais. Além disso, o sistema desenvolvido pode servir como base para pesquisas futuras, explorando técnicas de aprendizado de máquina para aprimorar a automação e prever padrões de uso dos equipamentos.

2. Trabalhos Relacionados

Esta seção sintetiza pesquisas anteriores que investigaram a aplicação da Internet das Coisas (IoT) e de sistemas de software na concepção de ambientes educacionais inteligentes.

[Desnanjaya et al. 2023] demonstram um sistema eficiente de monitoramento de ambientes e ar-condicionado, especialmente em ambientes educacionais. Utilizando sensores baseados em ESP-12E e controle PID, foi desenvolvido um sistema de monitoramento de sala que mede temperatura, umidade e intensidade de luz. O controle PID foi ajustado para manter uma temperatura interna estável de 25°C, mesmo com cargas de calor externas. Os resultados mostraram uma resposta rápida e estável do controlador PID, confirmando sua eficácia e adaptabilidade. Este estudo tem implicações mais amplas para a eficiência energética e a criação de ambientes de aprendizagem mais confortáveis.

O estudo de [Brown et al. 2020] explora como a automação e o controle de gestão são utilizados em um ambiente dinâmico de serviços para melhorar a flexibilidade organizacional e a eficiência energética. Utilizando o framework de Adler et al. (1996),

a pesquisa analisa como controles habilitadores permitem que as organizações busquem simultaneamente flexibilidade e eficiência. Os resultados mostram que a combinação de automação padronizada com controles habilitadores (semi-automação) pode equilibrar a flexibilidade organizacional e a eficiência energética, proporcionando uma gestão mais eficaz em ambientes dinâmicos.

Diferentemente dos trabalhos anteriores, este estudo propõe uma solução voltada especificamente para a realidade de salas de aula em uma instituição de ensino, utilizando tecnologias acessíveis e uma abordagem prática de automação. Enquanto pesquisas anteriores exploraram monitoramento em larga escala e controle PID, este trabalho enfatiza a implementação de automações baseadas em sensores de presença, estado da porta e consumo energético, garantindo uma aplicação viável e eficiente no contexto educacional. Além disso, os resultados quantitativos obtidos demonstram o impacto real da automação no consumo elétrico, reforçando sua aplicabilidade e potencial para futuras expansões com técnicas de aprendizado de máquina e otimização de controle.

3. 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 Tabela 1 apresenta os dispositivos selecionados e suas respectivas funcionalidades.

Em seguida, o software SketchUp foi utilizado para modelar as salas e posicionar os dispositivos de automação, permitindo uma visualização precisa da disposição dos equipamentos e facilitando o planejamento da instalação (Figura 1).

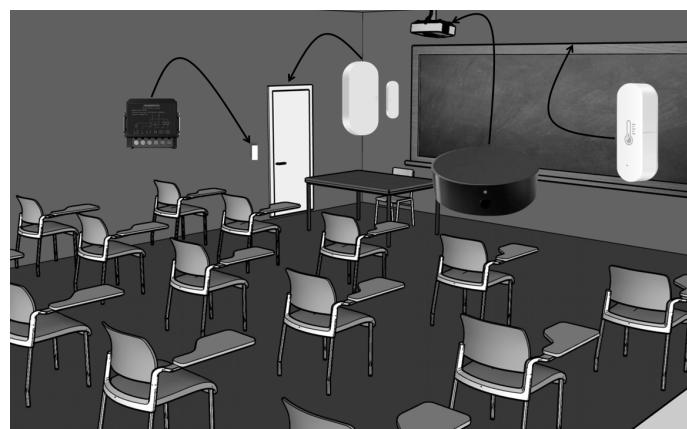


Figura 1. Modelagem da sala e posicionamento dos dispositivos de automação no SketchUp.

Tabela 1. Lista dos dispositivos selecionados para realizar a automação e monitoramento das salas de aula.

| 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. |  |

Após a instalação dos dispositivos nas salas de aula, foi desenvolvida a rede de comunicação para garantir a integração e o controle dos equipamentos. Para isso, uma máquina virtual foi configurada e recebeu a implantação do Home Assistant, responsável pela comunicação entre os dispositivos de automação e a gestão centralizada do sistema. A conectividade foi assegurada por meio de uma arquitetura de rede Wi-Fi privada, permitindo a operação dos dispositivos independentemente de uma conexão externa com a internet. Para dispositivos alimentados por bateria, como sensores de porta, temperatura e umidade, foi adotado o protocolo Zigbee, que reduz o consumo energético e prolonga a vida útil da bateria desses componentes. Um hub Zigbee foi utilizado para coletar e retransmitir os dados dos sensores para a rede Wi-Fi privada, garantindo a integração eficiente entre os dispositivos e o servidor.

Com a infraestrutura de comunicação estabelecida entre o servidor e os dispositivos, a próxima etapa envolveu o desenvolvimento de um banco de dados para armazenar os dados coletados pelos sensores inteligentes. Para isso, foi utilizada a extensão InfluxDB no Home Assistant, possibilitando o armazenamento estruturado, a consulta eficiente das informações e a flexibilidade para a adição de novos componentes com nenhuma alteração no modelo de dados. Além do banco de dados, foi desenvolvido um sistema supervisório para monitoramento e análise do comportamento das salas. Esse sistema foi implementado utilizando a extensão Grafana do Home Assistant, permitindo a visualização dos dados em tabelas, gráficos e dashboards dinâmicos. A Figura 2 ilustra a infraestrutura de comunicação e tecnologias utilizadas no projeto.

A etapa seguinte consistiu no monitoramento e avaliação do comportamento das salas em dois períodos distintos. O primeiro, denominado "Sem Automação", analisou o consumo energético sem a intervenção dos sistemas automatizados, permitindo identificar padrões de uso e possíveis desperdícios. No segundo período, "Com Automação", os sistemas foram ativados para avaliar o efeito da automação na eficiência energética das

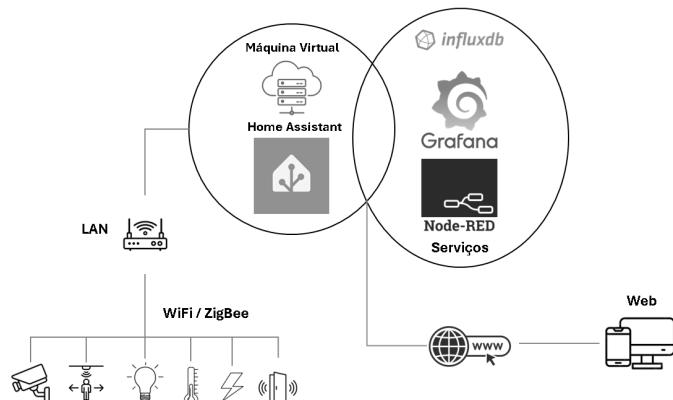


Figura 2. Diagrama da Infraestrutura de comunicação.

salas.

Para a implementação das automações, foi utilizada a extensão Node-Red, integrada ao Home Assistant, permitindo a criação de fluxos lógicos para o processamento dos dados dos sensores e o controle dos atuadores inteligentes. Dessa forma, foram estabelecidas rotinas automatizadas baseadas em três cenários principais:

1. 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.
2. 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.
3. 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.

4. Resultados e Discussões

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.

Durante o período "Sem Automação", observou-se um uso inadequado dos sistemas de ar-condicionado, resultando em desperdício de energia. As duas situações mais recorrentes foram a porta aberta e os equipamentos ligados em salas vazias. Em um caso específico, verificou-se que uma sala de aula permaneceu com o ar-condicionado ligado por uma hora, mesmo sem presença detectada e com a porta aberta, resultando em um consumo aproximado de 1,5 kW, como pode ser visualizado nos registros da Figura 3.

Após a coleta de dados dos períodos "Sem Automação" e "Com Automação", foram definidos pares de dias letivos para a análise da eficiência energética. Esses pares foram selecionados com o objetivo de evitar comparações com feriados e dias não letivos,



Figura 3. Registros do supervisório baseado em Grafana evidenciando períodos de ineficiência energética devido à porta aberta e ausência de ocupantes na sala.

garantindo condições similares de uso. Para cada período de estudo foram utilizados onze dias letivos. Os resultados são representados nos gráficos de barras da Figura 4, evidenciando a variação do consumo nos dois cenários. Na sala 305 (Figura 4a), em dez dos onze dias analisados, o consumo energético foi menor no período "Com Automação" em comparação ao período "Sem Automação". Na sala 306 (Figura 4b), essa tendência foi observada em oito dos onze dias.

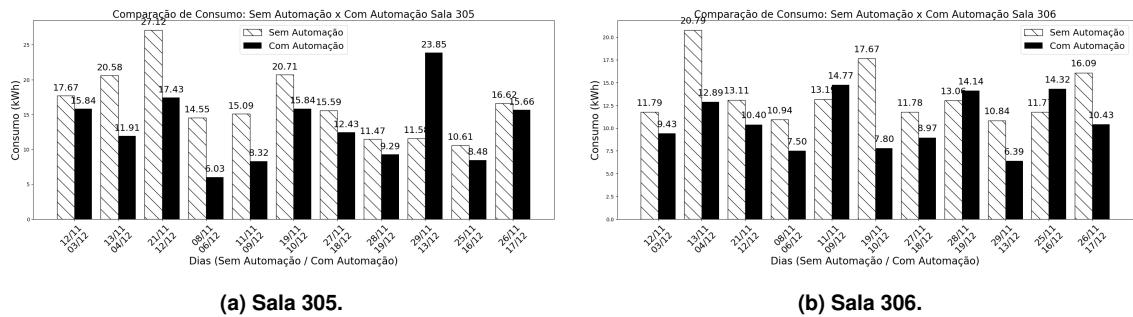


Figura 4. Consumo diário comparativo entre os períodos "Com Automação" e "Sem Automação" em dias pareados de duas salas de aula.

Em alguns dias, o consumo no período "Com Automação" foi maior, o que pode ser atribuído a um uso mais intenso da sala ou a fatores externos, como temperaturas ambientais mais elevadas. Por exemplo, na sala 305, ao comparar os dias 29/11 e 13/12, verificou-se que a diferença de consumo estava diretamente relacionada ao tempo de ocupação, com uma discrepância de três horas a mais no dia 13/12, conforme registrado pelo sensor de presença. Para complementar a análise, a Figura 5 contém boxplots que permitem uma representação estatística da distribuição do consumo energético.

Por fim, foi realizada uma análise comparativa do consumo total nos pares de dias letivos, permitindo o cálculo da diferença absoluta e do percentual de economia alcançado com a automação. Os resultados, mostrados na Tabela 2 demonstram uma redução significativa no consumo energético.

Para validar a influência da automação no consumo energético, foram realizados testes estatísticos para verificar a significância das diferenças entre os períodos analisados.

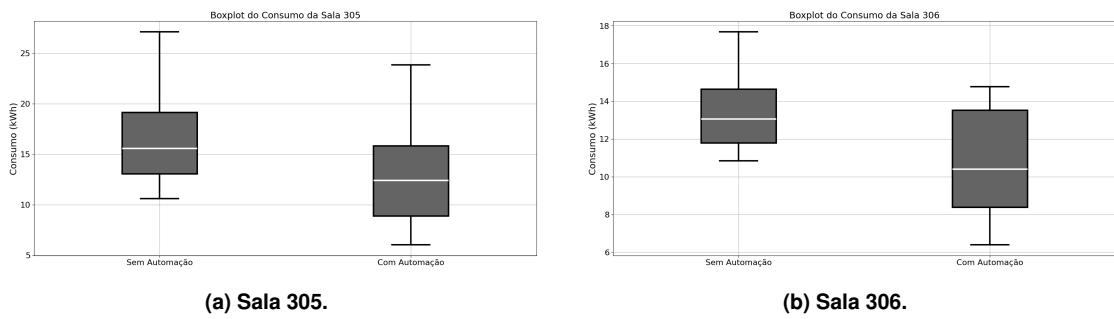


Figura 5. Boxplot da distribuição do consumo energético nos períodos "Com Automação" e "Sem Automação".

| 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% |

Tabela 2. Consumo de energia nas salas 305 e 306 ao longo de onze dias letivos nos períodos "Com Automação" e "Sem Automação".

Inicialmente, foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk para avaliar se os dados seguem uma distribuição normal. Para os dados "Sem automação" foi obtido $p = 0,0099$, indicando que a distribuição não pode ser considerada normal.

Como uma das amostras não apresentou distribuição normal, foi aplicado o teste não paramétrico de Wilcoxon, adequado para a comparação de medianas em distribuições não normais. As hipóteses formuladas para esse teste foram:

- Hipótese Nula (H_0): As medianas do consumo energético nos períodos "Sem Automação" e "Com Automação" são estatisticamente iguais.
- Hipótese Alternativa (H_1): As medianas do consumo energético nos períodos "Sem Automação" e "Com Automação" são estatisticamente diferentes.

O teste de Wilcoxon resultou em um p -value de 0.0019, indicando que a diferença entre os dois conjuntos de dados é estatisticamente significativa ao nível de significância de 5% ($\alpha = 0.05$). Portanto, os resultados fornecem evidências estatísticas de que a automação impactou significativamente o consumo energético, reforçando a eficiência da solução proposta.

5. Conclusão

A crescente preocupação com o consumo eficiente de energia em ambientes institucionais tem impulsionado o desenvolvimento de soluções baseadas em automação. Neste contexto, este estudo investigou a viabilidade da automação como estratégia para optimizar a eficiência energética em salas de aula, reduzindo desperdícios e promovendo um uso sustentável dos recursos.

A implementação de um sistema baseado em Internet das Coisas (IoT), aliado ao servidor Home Assistant e à comunicação via Wi-Fi e Zigbee, possibilitou o monitora-

mento e a automação inteligente de equipamentos como ar-condicionado e iluminação. Os testes realizados indicaram uma economia média da ordem de 20%, resultado estatisticamente significativo que demonstra o impacto positivo da automação na redução dos custos operacionais da instituição.

Além de sua aplicação no contexto educacional, a solução desenvolvida pode ser adaptada para diferentes setores, como residencial, industrial e hospitalar, contribuindo para um consumo energético mais racional. Para aprimorar ainda mais sua eficiência, propõe-se a incorporação de técnicas de aprendizado de máquina, permitindo ao sistema identificar padrões de uso e tomar decisões mais inteligentes. Além disso, a previsão de falhas e a manutenção preditiva dos equipamentos de climatização podem prolongar sua vida útil, reduzindo custos adicionais.

Dessa maneira, este trabalho estabelece uma base sólida para futuras pesquisas em automação inteligente, abrindo caminho para sistemas cada vez mais autônomos e eficientes. A infraestrutura desenvolvida pode servir como um laboratório experimental para o estudo de novas tecnologias voltadas à otimização do consumo energético e sustentabilidade em ambientes institucionais.

Referências

- Ahmed, M., Ali, A., Mohamed, A., and Afwah, A. (2024). Smart classroom automation system. *International Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 11:131–138.
- Brown, P., Ly, T., Pham, H., and Sivabalan, P. (2020). Automation and management control in dynamic environments: Managing organisational flexibility and energy efficiency in service sectors. *The British Accounting Review*, 52(2):100840.
- Desnanjaya, I. G. M. N., Pradhana, A. A. S., Putra, I. N. T. A., Widiastutik, S., and Nugraha, I. M. A. (2023). Integrated room monitoring and air conditioning efficiency optimization using esp-12e based sensors and pid control automation: a comprehensive approach. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 4(6):832–839.
- Flamini, A., Ciurluini, L., Loggia, R., Massaccesi, A., Moscatiello, C., and Martirano, L. (2022). Designing a home automation system low-cost for energy savings and living comfort. In *2022 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting (IAS)*, pages 1–8.
- Flamini, A., Ciurluini, L., Loggia, R., Massaccesi, A., Moscatiello, C., and Martirano, L. (2023). A prototype of low-cost home automation system for energy savings and living comfort. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 59(4):4931–4941.
- Goldberg, K. (2012). What is automation? *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 9(1):1–2.
- Gupta, A., Gupta, P., and Chhabra, J. (2015). Iot based power efficient system design using automation for classrooms. In *2015 Third International Conference on Image Information Processing (ICIIP)*, pages 285–289.
- Singh, S. P., Kumar, A., Singh, A., and Jain, K. (2015). Smart and intelligent next generation classrooms over cloud. In *2015 IEEE 3rd International Conference on MOOCs, Innovation and Technology in Education (MITE)*, pages 273–277.