

Campus Porto Velho Zona Norte
Coordenação do Curso Superior em Tecnologia de Redes de Computadores

LAÍS CRISTINA DOMINGUES MARQUES
RYAN RIBEIRO MARTINS

**TECNOLOGIAS DE AUTOMAÇÃO NA GESTÃO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA:
UM ESTUDO NO IFRO *CAMPUS* PORTO VELHO ZONA NORTE.**

PORTO VELHO

2026

**LAÍS CRISTINA DOMINGUES MARQUES
RYAN RIBEIRO MARTINS**

**TECNOLOGIAS DE AUTOMAÇÃO NA GESTÃO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA:
UM ESTUDO NO IFRO *CAMPUS* PORTO VELHO ZONA NORTE.**

Artigo tecnológico apresentado como Trabalho de Conclusão de Curso ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO) – *Campus* Porto Velho Zona Norte, como requisito parcial para a obtenção do grau de Tecnólogo em Redes de Computadores, sob a orientação do Prof. Dr. Jhordano Malacarne Bravim e coorientação do Prof. Me. Renato Almeida de Oliveira.

PORTO VELHO

2026

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Gerador de Ficha Catalográfica do IFRO.

Martins, Ryan Ribeiro.

Tecnologias de automação na gestão e eficiência energética: um estudo no IFRO Porto Velho Zona Norte / Ryan Ribeiro Martins, Laís Cristina Domingues Marques. - Porto Velho, 2026.
30 f. : il.

Orientador(a): Prof. Dr. Jhordano Malacarne Bravim.

Coorientador(a): Prof. Me. Renato Almeida de Oliveira.

Trabalho de Conclusão de Curso (Superior de Tecnologia em Redes de Computadores) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO, Porto Velho, 2026.

1. Eficiência energética . 2. Sistemas inteligentes. 3. Controle ambiental . 4. Otimização de recursos. I. Marques, Laís Cristina Domingues. II. Bravim, Jhordano Malacarne (orient.). III. Oliveira, Renato Almeida de (coorient.). IV. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO. V. Título.

Bibliotecário(a) Responsável: Celia Reis Sales, CRB-CRB11/955

LAÍS CRISTINA DOMINGUES MARQUES
RYAN RIBEIRO MARTINS

**TECNOLOGIAS DE AUTOMAÇÃO NA GESTÃO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA:
UM ESTUDO NO IFRO *CAMPUS* PORTO VELHO ZONA NORTE.**

Artigo tecnológico apresentado como Trabalho de Conclusão de Curso ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO) – *Campus* Porto Velho Zona Norte, como requisito parcial para a obtenção do grau de Tecnólogo em Redes de Computadores, sob a orientação do Prof. Dr. Jhordano Malacarne Bravim e coorientação do Prof. Me. Renato Almeida de Oliveira.

Aprovado em: 16/06/2026 pela banca examinadora.

Documento assinado digitalmente
 **ANDRUS DA SILVA SANDRES**
Data: 25/06/2026 13:37:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Andrus da Silva Sandres
Membro da Banca

Documento assinado digitalmente
 **JULIANA BRAZ DA COSTA**
Data: 25/06/2026 10:19:59-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Juliana Braz da Costa
Membro da Banca

Documento assinado digitalmente
 **JHORDANO MALACARNE BRAVIM**
Data: 25/06/2026 20:54:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Jhordano Malacarne Bravim
Orientador

TECNOLOGIAS DE AUTOMAÇÃO NA GESTÃO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: UM ESTUDO NO IFRO *CAMPUS* PORTO VELHO ZONA NORTE

RESUMO:

Este estudo analisa o uso de tecnologias de automação residencial aplicadas ao contexto de uma instituição pública, com o objetivo de otimizar o consumo energético do campus. A automação concentra-se no controle de iluminação e climatização conforme a programação de horários. A pesquisa foi caracterizada como descritiva, de abordagem quali-quantitativa, desenvolvida por meio de um estudo de caso no Campus Porto Velho Zona Norte do Instituto Federal de Rondônia. Os dados foram coletados por meio de pesquisas de campo, análise de documentos institucionais e mapeamento da infraestrutura de redes de comunicação que sustentam os dispositivos automatizados, sendo analisados por meio de técnica comparativa dos dados energéticos e operacionais. Os resultados indicaram que 100% das salas de aula e dos laboratórios foram automatizados, enquanto os ambientes administrativos apresentaram menor cobertura. Observou-se redução do desperdício de energia e maior controle sobre o uso dos equipamentos, especialmente nos sistemas de iluminação e ar-condicionado. Verificou-se também que a automação contribuiu para a redução da dependência de ações manuais e para a melhoria da gestão dos recursos. Conclui-se que a utilização de tecnologias de automação, apoiada em uma infraestrutura de rede confiável, promove maior eficiência energética e contribui para a modernização da gestão em instituições públicas.

PALAVRAS-CHAVE: eficiência energética; sistemas inteligentes; controle ambiental; otimização de recursos.

ABSTRACT:

This study analyzes the use of home automation technologies applied to the context of a public educational institution, aiming to optimize the campus's energy consumption. The automation focuses on controlling lighting and air conditioning systems according to predefined schedules. The research was characterized as descriptive, with a qualitative and quantitative approach, developed through a case study at the Porto Velho Zona Norte Campus of the Federal Institute of Rondônia. Data were collected through field research, analysis of institutional documents, and mapping of the communication network infrastructure supporting the automated devices. The data were analyzed using a comparative technique based on energy consumption and operational indicators. The results showed that 100% of classrooms and laboratories were automated, while administrative areas achieved lower coverage. A reduction in energy waste and greater control over equipment usage, particularly lighting and air conditioning systems, were observed. The findings also indicate that automation reduced dependence on manual operations and improved resource management. It is concluded that the use of automation technologies, supported by a reliable network infrastructure, promotes greater energy efficiency and contributes to the modernization of management practices in public institutions.

KEYWORDS: energy efficiency; smart systems; environmental control; resource optimization.

1 INTRODUÇÃO

A eficiência na administração pública brasileira constitui um desafio permanente, especialmente em um país de dimensões continentais e marcado por ampla diversidade socioeconômica. A necessidade de racionalizar o uso dos recursos públicos, reduzir desperdícios e ampliar a qualidade dos serviços prestados à população tem impulsionado debates sobre modernização administrativa e transformação digital no setor público. Nesse contexto, legislações como a Lei de Responsabilidade Fiscal (Brasil, 2000) representam marcos importantes para o fortalecimento da disciplina e da transparência fiscal, ao mesmo tempo em que iniciativas mais recentes, como a Estratégia de Governo Digital (Brasil, 2024), reforçam a importância da incorporação de tecnologias emergentes na gestão pública. Apesar desses avanços, desafios estruturais como burocracia excessiva, limitações gerenciais, desperdícios operacionais e baixa integração tecnológica ainda comprometem a eficiência administrativa e enfraquecem a confiança da sociedade nas instituições públicas (Bresser-Pereira, 1998; Abrucio, 1998).

Nesse cenário, a consolidação da Indústria 4.0 e o avanço das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) ampliam significativamente as possibilidades de modernização da gestão pública. Tecnologias como Internet das Coisas (IoT), automação predial, sensores inteligentes e plataformas de gerenciamento remoto permitem o monitoramento contínuo de ambientes e dispositivos, contribuindo para a melhoria da eficiência operacional e para a redução do consumo energético em organizações públicas.

Cabe destacar, no entanto, que a viabilidade de qualquer solução de automação predial depende diretamente da infraestrutura de redes de computadores que sustenta a comunicação entre sensores, atuadores e servidores. Aspectos como o protocolo de comunicação sem fio utilizado, a segurança da rede (autenticação e segmentação), a latência de resposta dos comandos e a escalabilidade da estrutura para suportar o crescimento do número de dispositivos conectados são elementos técnicos centrais para o sucesso de qualquer projeto de automação. Assim, a gestão energética automatizada não deve ser compreendida apenas como uma solução de software, mas também como um problema de engenharia de redes, no qual a confiabilidade da infraestrutura de comunicação determina a robustez do sistema como um todo o que aproxima diretamente este estudo do campo de formação em Redes de Computadores.

Estudos recentes evidenciam o potencial dessas tecnologias na otimização do consumo energético em ambientes públicos. Rocha et al. (2022), ao desenvolverem um sistema de gerenciamento e automação de climatização aplicado ao Campus Central da Universidade

Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), demonstraram que o monitoramento automatizado permite reduzir desperdícios energéticos ao evitar o funcionamento desnecessário de equipamentos em períodos de inatividade. Da mesma forma, plataformas de código aberto voltadas à automação, como o Home Assistant, têm se destacado pela capacidade de integrar dispositivos de diferentes fabricantes em uma única infraestrutura centralizada, reduzindo custos de implementação e ampliando a interoperabilidade dos sistemas (Schoutsen, 2023). Entretanto, a eficiência dessas soluções depende diretamente de uma infraestrutura de redes confiável, segura e escalável, responsável pela comunicação entre sensores, servidores, dispositivos automatizados e sistemas de controle.

No Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO) – Campus Porto Velho Zona Norte, observa-se que, apesar da existência de uma infraestrutura de rede consolidada, a gestão de dispositivos de baixa potência e sistemas prediais ainda ocorre majoritariamente de forma manual. A ausência de monitoramento inteligente e controle automatizado de recursos como iluminação e climatização contribui para desperdícios evitáveis de energia, além de dificultar a geração de indicadores precisos para apoio à tomada de decisão administrativa. Dessa forma, evidencia-se uma lacuna entre a infraestrutura tecnológica já disponível na instituição e a aplicação prática de soluções de automação voltadas à eficiência operacional e energética.

Diante desse contexto, surge o seguinte problema de pesquisa: como a infraestrutura de redes e os sistemas de automação podem contribuir para a eficiência energética em uma instituição pública de ensino? A partir dessa problemática, esta pesquisa tem como objetivo geral analisar e implementar o uso de tecnologias de automação aplicadas ao gerenciamento de energia e infraestrutura no IFRO – Campus Porto Velho Zona Norte.

Metodologicamente, a pesquisa foi caracterizada como descritiva, de abordagem quali-quantitativa, desenvolvida por meio de um estudo de caso no IFRO – Campus Porto Velho Zona Norte. A pesquisa compreende etapas de diagnóstico da infraestrutura existente, mapeamento dos processos operacionais relacionados ao consumo energético, implementação de uma solução de automação baseada em plataforma open source e análise dos impactos gerados nos processos de gestão e no consumo de energia da instituição durante o período de execução do projeto.

Esta pesquisa justifica-se pela necessidade de promover soluções tecnológicas sustentáveis e acessíveis para a administração pública, contribuindo para a redução do consumo energético, minimização de falhas operacionais e fortalecimento da gestão inteligente de

recursos institucionais. Além disso, o trabalho está alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas, especialmente ao ODS 7 (Energia Limpa e Acessível) e ao ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), ao incentivar a utilização eficiente dos recursos públicos e a modernização tecnológica das instituições educacionais. Por fim, espera-se que os resultados obtidos possam transformar o campus em um ambiente de experimentação tecnológica e servir como referência para a implementação de soluções semelhantes em outras unidades do Instituto Federal e em demais organizações públicas.

2 DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO PROBLEMA E/OU OPORTUNIDADE

2.1 Caracterização da infraestrutura e consumo energético

Com o objetivo de compreender a realidade operacional e energética do IFRO Campus Porto Velho Zona Norte, realizou-se o mapeamento dos ambientes institucionais e dos dispositivos elétricos existentes na unidade. Ficou evidenciado um cenário comum a diversas instituições públicas de ensino: a coexistência de uma infraestrutura tecnológica consolidada com processos de gestão predial ainda predominantemente manuais e reativos. O campus caracteriza-se pela intensa circulação de usuários nos turnos matutino, vespertino e noturno, envolvendo estudantes, servidores, colaboradores terceirizados e visitantes externos, fator que amplia a complexidade do controle eficiente dos recursos institucionais.

Inicialmente, foi realizado um levantamento físico presencial em todos os blocos da unidade, contemplando salas de aula, laboratórios de informática, setores administrativos, biblioteca e demais ambientes compartilhados destinados às atividades acadêmicas e institucionais. Durante essa etapa, buscou-se identificar os principais equipamentos de baixa potência em operação, com destaque para sistemas de iluminação, aparelhos de climatização, ventiladores, projetores, televisores e outros dispositivos auxiliares amplamente utilizados nas atividades da instituição.

A infraestrutura do campus apresenta características típicas da região amazônica, marcada por temperaturas elevadas e alta umidade durante grande parte do ano, condição que intensifica a utilização contínua de equipamentos de refrigeração e amplia significativamente a demanda energética institucional. Nesse contexto, foram coletadas informações relacionadas à quantidade de dispositivos instalados, às características operacionais dos equipamentos, às formas de acionamento utilizadas incluindo controles manuais e sistemas infravermelhos, bem como à frequência de uso dos ambientes e à dinâmica dos turnos acadêmicos.

De forma quantitativa, os dados coletados demonstraram que o campus possui 13 salas de aula, 6 laboratórios de informática, incluindo o ambiente do NIT/CIT, além de 16 setores administrativos distribuídos ao longo da unidade. Estima-se ainda a existência de

aproximadamente 73 aparelhos de ar-condicionado e 789 luminárias instaladas nos ambientes acadêmicos e administrativos. Complementarmente, a análise de dados institucionais indicou que o consumo médio mensal de energia elétrica no ano de 2024 foi de aproximadamente 35.908 kWh.

Cabe esclarecer que esse valor de 2024 refere-se ao diagnóstico inicial do projeto, levantado antes da implementação da automação — operacionalizada somente a partir de maio de 2025. A série histórica completa de consumo energético do campus entre os anos de 2022 e 2025, incluindo o período posterior à automação, é apresentada e discutida de forma comparativa na Tabela 2 (seção 3.4).

2.2 Contexto organizacional e amparo normativo

O IFRO é uma autarquia federal vinculada ao Ministério da Educação, responsável pela oferta de ensino, pesquisa e extensão, possuindo também o compromisso institucional com a gestão eficiente e sustentável dos recursos públicos. Nesse sentido, a adoção de soluções tecnológicas voltadas à eficiência energética encontra respaldo na Política de Sustentabilidade Institucional estabelecida pela Resolução nº 71/REIT - CONSUP/IFRO, de 21 de setembro de 2018, que dispõe sobre a elaboração dos Planos de Logística Sustentável (PLS) no âmbito institucional.

O referido instrumento normativo estabelece diretrizes voltadas à racionalização do consumo de recursos e à promoção de boas práticas sustentáveis. Entre as ações previstas destacam-se: a realização de diagnósticos das instalações elétricas, o monitoramento do consumo de energia, o desligamento de equipamentos em ambientes desocupados e a utilização de sensores de presença em áreas de circulação de pessoas (Ifro, 2018). Contudo, embora essas diretrizes estejam formalmente estabelecidas, observa-se que sua aplicação prática ainda dependia de procedimentos manuais, o que reduzia a efetividade das políticas institucionais de sustentabilidade.

2.3 Oportunidade de inovação tecnológica

Paradoxalmente às limitações identificadas nos processos de gestão predial, o campus dispõe de uma infraestrutura de redes robusta e de um ambiente computacional capaz de suportar soluções de automação centralizada. A existência de servidores locais, virtualização de serviços e conectividade de rede institucional cria condições favoráveis para a implementação de tecnologias baseadas em Internet das Coisas (IoT) e automação predial.

Nesse cenário, identifica-se uma oportunidade estratégica para integrar a infraestrutura de rede existente a uma plataforma de automação baseada em software de código aberto, como o Home Assistant, permitindo a interoperabilidade entre diferentes dispositivos e fabricantes sem elevados custos de licenciamento. A utilização de soluções open source possibilita maior

flexibilidade, escalabilidade e economicidade para a administração pública, além de favorecer futuras expansões do sistema.

A adoção de sensores inteligentes, atuadores automatizados e sistemas de monitoramento remoto poderia transformar o modelo então vigente de gestão reativa em uma gestão proativa e orientada por dados. Entre os benefícios esperados destacavam-se a otimização do consumo energético, a redução de desperdícios, o fortalecimento da sustentabilidade institucional, o aumento da segurança operacional e a melhoria da eficiência dos processos administrativos relacionados ao gerenciamento da infraestrutura predial.

3 ANÁLISE DA SITUAÇÃO PROBLEMA E PROPOSTAS DE INOVAÇÃO/INTERVENÇÃO/RECOMENDAÇÃO

Esta seção apresenta os resultados obtidos a partir da análise dos dados coletados no projeto de automação desenvolvido no campus Zona Norte. Busca-se evidenciar as mudanças observadas após a implementação da solução nos ambientes selecionados. Para isso, foram considerados dados de consumo energético do campus, com base nas faturas de energia elétrica de janeiro de 2022 a dezembro de 2025, bem como informações sobre os dispositivos automatizados, os ambientes contemplados e a infraestrutura de rede utilizada.

3.1 Levantamento dos ambientes automatizados

Esta etapa teve como objetivo identificar os ambientes do *campus* nos quais foram instalados os dispositivos de automação. Para isso, foi realizado um levantamento dos espaços existentes e posteriormente verificado em quais deles houve a implementação do sistema. A análise considera a relação entre a quantidade de ambientes automatizados e o total de ambientes existentes em cada categoria, permitindo identificar o nível de cobertura da solução implantada. A tabela 1 apresenta os ambientes existentes e aqueles que receberam a instalação dos dispositivos de automação.

Tabela 1 – Ambientes com dispositivos de automação instalados

Ambientes	Quant. instaladas	Quant. existentes
Sala de Aula	13	13
Laboratórios	6	6
Ambientes administrativos	3	16
Outros ambientes acadêmicos	1	3

Fonte: elaborado pelos autores, 2026.

A partir dos dados apresentados na tabela, observa-se que 100% das salas de aula foram automatizadas. Da mesma forma, todos os laboratórios também foram contemplados, totalizando 100% de automação nessa categoria, considerando os cinco laboratórios existentes e o ambiente do NIT/CIT, também classificado como laboratório para fins deste estudo.

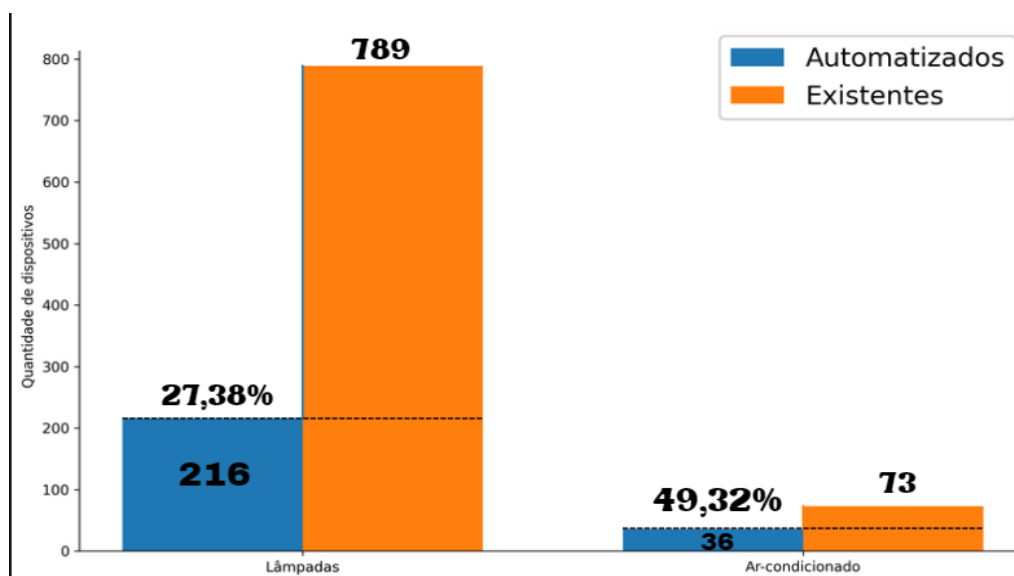
Nos demais ambientes acadêmicos, que incluem a sala dos estudantes, a sala de acolhimento e a biblioteca, apenas a sala dos estudantes recebeu a implementação da solução, representando 33,33% de automação nessa categoria. Já entre os ambientes administrativos considerados, três dos dezesseis espaços existentes foram automatizados, correspondendo a 18,75% de cobertura.

Esses resultados demonstram que a implementação do sistema priorizou os ambientes diretamente relacionados às atividades de ensino, como salas de aula e laboratórios, garantindo cobertura total nesses espaços e contribuindo para a modernização da infraestrutura acadêmica do campus.

3.2 Levantamento dos dispositivos automatizados no campus

Nesta etapa são apresentados os resultados referentes aos dispositivos que receberam a implementação da solução de automação. A análise considera a relação entre a quantidade total de dispositivos existentes no campus e aqueles que passaram a ser controlados pelo sistema automatizado, permitindo identificar o nível de cobertura da automação aplicada aos equipamentos. O Gráfico 1 apresenta o quantitativo de dispositivos existentes e aqueles que foram automatizados durante a execução do projeto.

Gráfico 1 – Dispositivos automatizados no campus



Fonte: elaborado pelos autores, 2026.

A partir dos dados apresentados, observa-se que, do total de 789 lâmpadas existentes no campus, 216 foram automatizadas, o que corresponde a aproximadamente 27,38% de cobertura. Estas lâmpadas apresentam variação de potência entre 18 W e 20 W, sendo utilizadas nos diferentes ambientes acadêmicos e administrativos.

Em relação aos aparelhos de ar-condicionado, dos 73 equipamentos existentes, 36 foram integrados ao sistema de automação, representando cerca de 49,32% de automação. Os equipamentos contemplados possuem capacidades que variam entre 9.000 BTUs e 80.000 BTUs, atendendo às diferentes demandas térmicas dos ambientes.

Esses dispositivos automatizados são controlados por interruptores inteligentes e controladores infravermelhos (IR), responsáveis pelo acionamento remoto e pela execução das rotinas previamente configuradas, garantindo maior eficiência no uso dos recursos energéticos e melhor controle operacional dos ambientes. Para viabilizar a comunicação entre os dispositivos, foi utilizada uma infraestrutura de rede sem fio configurada com o apoio da Coordenação de Gestão de Tecnologia da Informação (CGTI) do campus, cuja arquitetura e funcionamento são detalhados nas seções 3.3 e 3.6.1.

3.3 Configuração da plataforma de automação e infraestrutura computacional

Este campo abordará como a pesquisa voltada para a infraestrutura e como funciona a integração dos dispositivos com as API's, protocolos de comunicação em rede, a parte física e a lógica atuando como os mediadores da automação.

3.3.1 Configuração dos dispositivos e integração ao ecossistema tuyu smart

A etapa inicial da implementação consistiu na configuração dos dispositivos físicos de automação interruptores inteligentes Wi-Fi e controladores infravermelhos (IR) por meio da plataforma Smart Life, aplicativo centralizado para automação residencial e estilo de vida inteligente que utiliza o ecossistema e as APIs da Tuya Smart. O processo de integração dos dispositivos ao sistema foi realizado por meio do modo de pareamento **EZ (Wi-Fi Easy Connect, também conhecido como SmartConfig)**, modo padrão da plataforma Tuya para dispositivos Wi-Fi. Nesse modo, o smartphone, previamente conectado à rede Wi-Fi de 2,4 GHz institucional configurada para a automação, transmite via broadcast as credenciais de rede e um token de pareamento; o dispositivo, com o indicador luminoso piscando rapidamente para sinalizar que está em modo de configuração, capta essa transmissão por meio de sua própria interface Wi-Fi e conclui a conexão à rede, passando a integrar o ecossistema gerenciado pela plataforma Tuya (Tuya Developer, 2024).

Para suportar a comunicação dos dispositivos IoT, foi configurada uma rede Wi-Fi dedicada, segmentada logicamente por meio de VLAN (Virtual Local Area Network) exclusiva para o ambiente de automação, isolando esse tráfego da rede acadêmica e administrativa do campus. O SSID foi configurado como oculto, de modo a mitigar tentativas de reconhecimento passivo e acesso não autorizado por dispositivos externos. A frequência adotada foi a de 2,4 GHz, opção técnica justificada por dois fatores principais: trata-se da faixa de operação nativa da ampla maioria dos dispositivos IoT de baixo custo disponíveis comercialmente, e apresenta desempenho superior em termos de alcance de propagação e penetração em ambientes com múltiplas paredes e obstáculos físicos quando comparada à banda de 5 GHz, característica relevante dado o perfil construtivo distribuído do campus Porto Velho Zona Norte (Al-Fuqaha et al., 2015).

3.3.2 Infraestrutura computacional do GTEC

O sistema de gerenciamento centralizado foi hospedado na infraestrutura computacional do Grupo de Pesquisa em Tecnologia, Comunicação e Governança (GTEC), composta por um cluster de cinco nós que totalizam 160 núcleos de processamento, aproximadamente 2,1 terabytes de memória RAM e cerca de 20 terabytes de armazenamento. O ambiente é gerenciado pelo hipervisor Proxmox VE, plataforma de virtualização de código aberto baseada em KVM (Kernel-based Virtual Machine) e LXC (Linux Containers), que permite a criação, o gerenciamento e o monitoramento de máquinas virtuais e contêineres em ambiente de alta disponibilidade.

Para a implantação do sistema de automação, foi provisionada uma máquina virtual dedicada nesse cluster, com as seguintes especificações de recursos: 4 núcleos de processamento virtual (vCPU), 8 gigabytes de memória RAM e 32 gigabytes de armazenamento em disco. Esse dimensionamento foi definido com base nos requisitos operacionais do Home Assistant, garantindo capacidade suficiente para o gerenciamento dos dispositivos integrados, a execução das rotinas automatizadas e o armazenamento dos registros históricos de estado e consumo energético.

3.3.3 Instalação e disponibilização do home assistant

O sistema operacional adotado foi o Home Assistant OS (HAOS), instalado na máquina virtual provisionada no cluster Proxmox VE por meio de script de implantação automatizado disponibilizado pela própria comunidade do projeto. A escolha pelo Home Assistant OS, em detrimento de instalações em modo contêiner (Home Assistant Container) ou ambiente Python isolado (Home Assistant Core), justifica-se por três fatores técnicos: o HAOS inclui um Supervisor nativo, componente responsável pelo gerenciamento do ciclo de vida do sistema, pela aplicação de atualizações automáticas e pela instalação de complementos (add-ons) em contêineres isolados como serviços de broker MQTT, backups automatizados e ferramentas de diagnóstico de rede, o que amplia a capacidade de expansão futura do sistema sem exigir gerenciamento manual de contêineres pela equipe; oferece maior estabilidade operacional por ser um sistema dedicado exclusivamente à automação, sem concorrência de processos externos; e provê interface de administração unificada que simplifica a manutenção por equipes com diferentes níveis de especialização técnica (Home Assistant, 2024).

Após a instalação do HAOS, os dispositivos previamente pareados ao ecossistema Tuya por meio do aplicativo Smart Life (seção 3.3.1) foram vinculados ao Home Assistant por meio da integração nativa "Tuya", disponível no menu Configurações > Dispositivos e Serviços da plataforma. Essa integração autentica-se na conta cadastrada na Tuya IoT Platform e sincroniza automaticamente os dispositivos já associados a essa conta, expondo-os como entidades controláveis dentro do Home Assistant sem a necessidade de reconfigurar o pareamento físico realizado anteriormente.

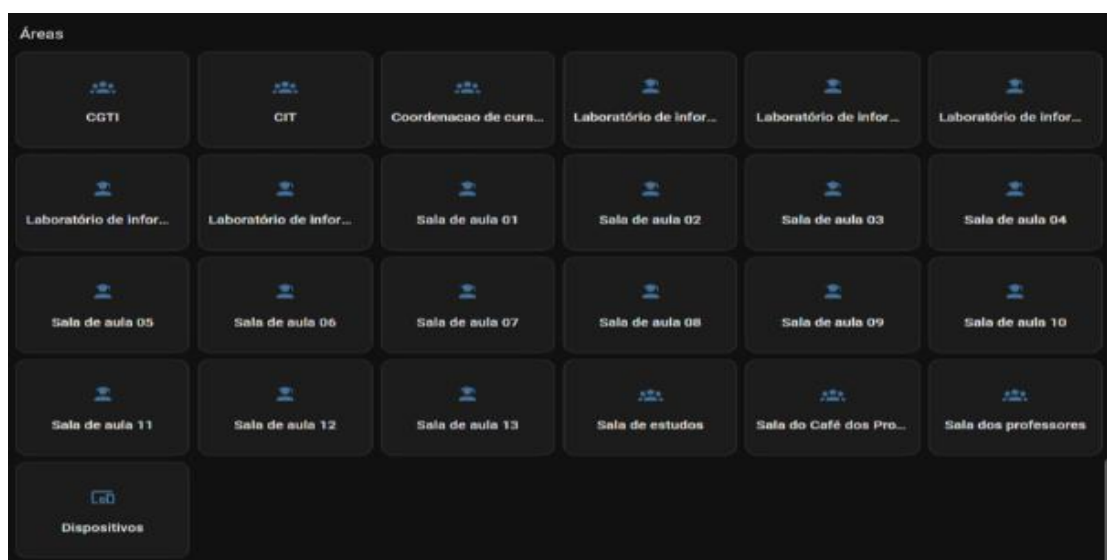
Após a instalação, o Home Assistant foi disponibilizado como serviço de rede da infraestrutura do GTEC, acessível tanto na rede local quanto externamente por meio de uma URL dedicada. Para viabilizar o acesso externo com segurança, utilizou-se o recurso de túnel fornecido pela Cloudflare (Cloudflare Tunnel), que permite expor o serviço à internet sem a necessidade de abertura direta de portas no firewall institucional, garantindo ao mesmo tempo o certificado TLS/SSL para as conexões HTTPS. Ressalta-se que a implementação detalhada desses mecanismos de exposição e certificação não integra o escopo deste projeto, sendo

mencionada apenas para contextualização da arquitetura de acesso adotada. As conexões ao Home Assistant são gerenciadas por firewall institucional, que controla e filtra o tráfego de entrada e saída, constituindo uma camada adicional de segurança para o ambiente de automação.

O Home Assistant destaca-se como uma plataforma de automação de código aberto utilizada para integração e gerenciamento de dispositivos inteligentes em um ambiente centralizado, cuja flexibilidade e capacidade de personalização permitem a implementação de soluções adaptáveis a diferentes necessidades, tornando-se uma ferramenta relevante tanto para aplicações residenciais quanto institucionais (Home Assistant, 2024).

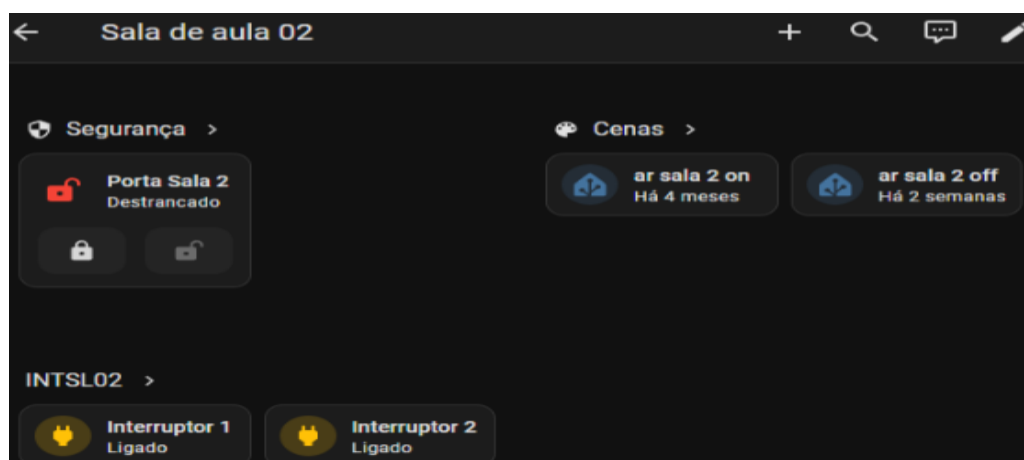
No contexto deste projeto, o Home Assistant funciona como o núcleo da automação, consolidando em uma única interface todos os dispositivos configurados. A partir dessa centralização, torna-se possível realizar o gerenciamento dos ambientes de forma organizada, permitindo a visualização dos estados dos dispositivos, o acionamento manual e a execução automática de tarefas. As Figuras 1 e 2 apresentam, respectivamente, a organização das rotinas automatizadas e a estrutura dos ambientes monitorados pelo sistema.

Figura 1 - Interface Software *Home Assistant* com os ambientes acadêmicos automatizados.



Fonte: Home Assistant, 2026

Figura 2 - Software gerenciador *Home Assistant* instalado e configurado com a rotina de automação configurada.



Fonte: Home Assistant, 2026.

3.3.4 Rotinas de automação configuradas

Entre os principais recursos utilizados, destaca-se a configuração de rotinas automáticas, responsáveis pela execução programada das ações. No presente projeto, foram definidos horários de desligamento com base nos turnos acadêmicos do campus. Os aparelhos de ar-condicionado são desligados automaticamente ao final de cada turno (12:00, 18:00 e 22:30), enquanto a iluminação é desligada com um intervalo adicional de cinco minutos (12:05, 18:05 e 22:35), garantindo maior flexibilidade ao término das atividades, conforme apresentado na figura 3 que representa o cartaz fixado em cada ambiente automatizado.

Figura 3 – Funcionamento da Automação da Sala.



Fonte: elaborado pelos autores, 2026.

A adoção dessas rotinas permite a redução da dependência de intervenções manuais, além de contribuir para a otimização do consumo energético. Ademais, o sistema possibilita ajustes dinâmicos nas configurações, tornando a solução adaptável às diferentes demandas institucionais. Nesse contexto, o *Home Assistant* consolida-se como o elemento central da automação, viabilizando o gerenciamento eficiente dos dispositivos e a execução das rotinas, promovendo maior controle, organização e modernização da infraestrutura do campus.

3.4 Mapeamento do estado de consumo energético do campus: análise das contas de energia de 01/2022 a 12/2025.

Com o objetivo de compreender o comportamento energético da instituição, foi realizada a coleta e análise dos dados relacionados ao consumo de energia elétrica do campus, com base nas contas de energia referentes ao período de janeiro de 2022 a dezembro de 2025. Essas informações foram utilizadas para mapear o estado energético da instituição, evidenciando principalmente o crescimento do consumo ao longo do período analisado.

A análise considerou o consumo mensal registrado em quilowatt-hora (kWh), permitindo identificar padrões de utilização da energia, variações ao longo do tempo e compreender o comportamento energético da instituição. A partir desses dados, foi possível

observar tendências de consumo e estabelecer uma base comparativa para as análises posteriores relacionadas à eficiência energética e aos impactos da automação implementada nos ambientes do campus.

A tabela 2 apresenta a comparação do consumo energético médio do campus entre os anos de 2022 e 2025. Observa-se crescimento no consumo energético entre 2022 e 2024. No período de 2022 para 2023 houve aumento aproximado de 19,2% no consumo médio mensal de energia, enquanto entre 2023 e 2024 foi registrado crescimento adicional de aproximadamente 9,7%, indicando aumento significativo da demanda energética da instituição ao longo do período analisado.

Entretanto, no ano de 2025 observa-se uma estabilização do consumo energético, com variação de aproximadamente 0,3% em relação ao ano anterior. Esse comportamento pode estar associado à implementação de estratégias de monitoramento energético e ao uso de soluções de automação voltadas à redução do desperdício energético no ambiente institucional, iniciada em maio de 2025.

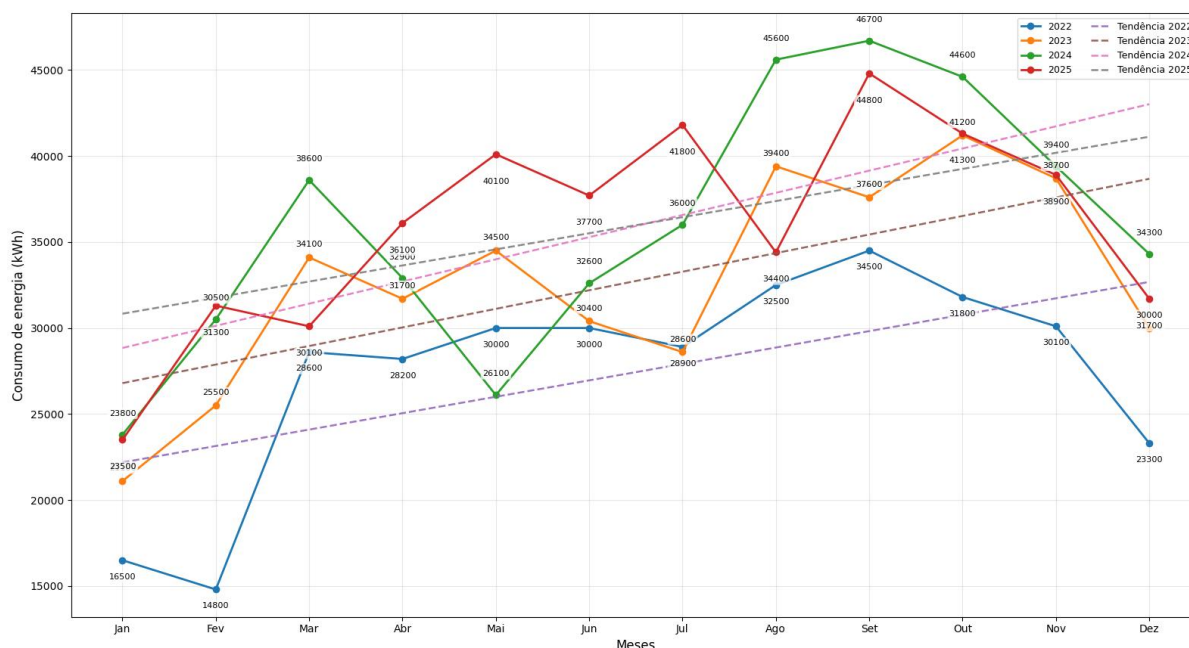
Tabela 2 - Comparativo do consumo energético do campus (2022-2025)

Ano	Consumo médio mensal (kWh)	Consumo anual estimado (kWh)	Variação em relação ao ano anterior	Análise do resultado
2022	27.462	329.550	—	Ano base para análise do comportamento energético do campus
2023	32.727	392.726	0,192	Crescimento significativo no consumo energético
2024	35.908	430.893	0,097	Continuação do aumento da demanda energética do campus
2025	36.015	432.178	0,003	Estabilização do consumo energético, com indícios de controle e otimização

Fonte: elaborado pelos autores, 2026.

O Gráfico 2 apresenta a comparação do consumo energético mensal do campus no período de 2022 a 2025, permitindo observar tanto os valores absolutos quanto o comportamento de crescimento ao longo do tempo, evidenciado pelas linhas de tendência.

Gráfico 2 – Variação percentual do consumo energético do campus (2022–2025).



Fonte: elaborado pelos autores, 2026.

De modo geral, verifica-se um aumento progressivo no consumo energético ao longo dos anos, com destaque para 2024, que apresenta os maiores picos de consumo, especialmente nos meses de agosto (45.600 kWh) e setembro (46.700 kWh). Esse comportamento está diretamente relacionado à intensificação das atividades acadêmicas e à maior utilização dos ambientes institucionais.

Entretanto, a análise comparativa entre os anos de 2024 e 2025 revela uma mudança significativa no padrão de crescimento do consumo. Embora o ano de 2025 ainda apresenta valores elevados como observado em setembro (44.800 kWh) e outubro (41.200 kWh), a inclinação da linha de tendência desse período é menos acentuada quando comparada à de 2024.

As linhas de tendência mostram que, no cenário anterior à automação, o crescimento do consumo energético ocorria de forma mais acelerada, como observado na tendência de 2024. Por outro lado, após a implementação da automação, representada pelos dados de 2025, verifica-se uma desaceleração desse crescimento, o que é consistente com maior controle sobre o uso dos recursos energéticos. É importante ressaltar, contudo, que essa desaceleração é observada em uma análise temporal simples (comparação de inclinações de tendência), sem isolamento estatístico de outras variáveis que também podem influenciar o consumo no período, como mudanças climáticas sazonais e eventuais alterações tarifárias, cujo efeito líquido sobre o consumo não é conhecido a priori. Cabe destacar, no entanto, que ao menos dois fatores de demanda identificados no período de 2025 tendem a pressionar o consumo para cima, e não

para baixo: a ampliação do número de turmas, com maior utilização de salas de aula e laboratórios, e a cessão eventual do campus para a realização de eventos externos, que amplia pontualmente o uso de iluminação e climatização para além do padrão de ocupação acadêmica regular. Assim, a desaceleração do ritmo de crescimento observada mesmo diante desses fatores de expansão da demanda é consistente com uma contribuição relevante da automação na contenção do consumo, ainda que, na ausência de registro individualizado desses eventos, não seja possível quantificar separadamente o peso de cada fator nem estabelecer uma relação de causalidade estatisticamente controlada.

Cabe destacar que o consumo energético em 2025 ainda apresenta tendência ascendente em termos absolutos. Esse fato se justifica pelo aumento da demanda do campus, incluindo a ampliação do número de turmas, maior utilização de salas de aula e laboratórios, a intensificação do uso dos espaços ao longo do dia e, pontualmente, a cessão do campus para eventos externos à rotina acadêmica regular. Nesse contexto, a automação não elimina o crescimento do consumo que segue sendo impulsionado pela expansão institucional e por esses usos eventuais, mas atua como um mecanismo de mitigação, reduzindo desperdícios associados principalmente à falha humana, como o uso indevido de iluminação e sistemas de climatização em ambientes desocupados.

Dessa forma, a análise do gráfico demonstra que a automação contribuiu para tornar o crescimento do consumo energético mais controlado, evidenciando sua eficácia como estratégia de gestão em ambientes institucionais em expansão.

3.5 Dados relacionados à economia.

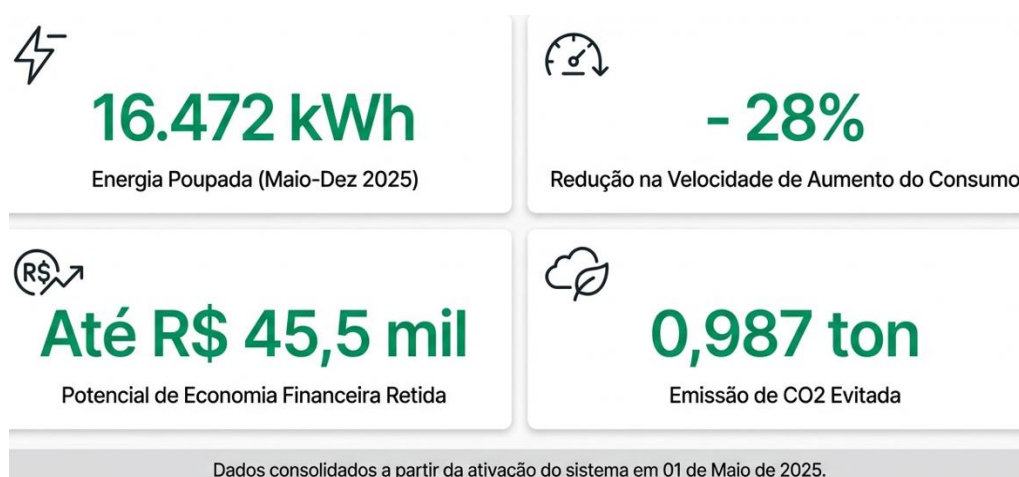
A implementação do sistema de automação no Campus Porto Velho Zona Norte, operacionalizado a partir de 01 de maio de 2025, revelou impactos significativos tanto na eficiência energética quanto na governança institucional. A análise dos dados consolidados após oito meses de operação demonstra que a transição de um modelo de gestão manual para uma arquitetura baseada em Inteligência Energética permitiu a captura de resultados que transcendem a mera economia financeira, configurando-se como uma entrega estratégica de ESG (Environmental, Social, and Governance) e eficiência operacional.

Os resultados macroscópicos do projeto evidenciam uma economia direta de 16.472 kWh no período de maio a dezembro de 2025, acompanhada por uma redução de 28% na velocidade de aumento do consumo institucional. Além do impacto energético, o projeto também apresentou potencial de retenção financeira de aproximadamente R\$45,5 mil em cenários de maior incidência tarifária. Considerando que a tarifação energética do campus é

segmentada entre horários de ponta (19h às 21h59) e fora de ponta (22h às 18h59), sendo o custo do kWh significativamente maior no período de ponta.

Além dos impactos econômicos, a solução contribuiu para evitar a emissão de quase uma tonelada de CO₂ na atmosfera, demonstrando que a automação aplicada à gestão pública pode gerar benefícios operacionais, financeiros e ambientais de forma simultânea. Podemos sintetizados na Figura 4:

Figura 4 – O impacto imediato da automação em 8 meses de operação.



Fonte: elaborado pelos autores, 2026.

Para contextualizar a magnitude deste resultado, a "métrica invisível" do consumo evitado (16.472 kWh) revela que a instituição logrou uma economia equivalente ao desligamento total do campus por um mês letivo inteiro, utilizando como base o histórico de janeiro de 2022. Como demonstrado na Figura 5, enquanto a projeção baseada no ritmo de 2024 apontava para um consumo de aproximadamente 326.973 kWh, a realidade com a automação limitou esse gasto a 310.500 kWh, provando que a automação atua como uma barreira crítica contra o desperdício estrutural.

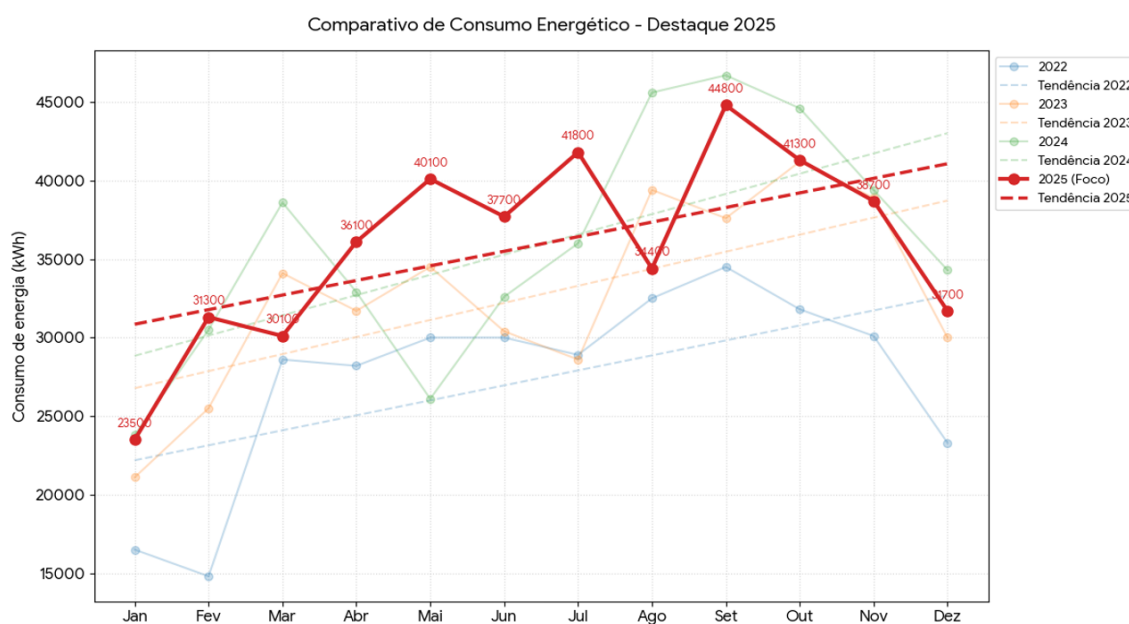
Figura 5 – O Consumo Evitado: A Métrica Invisível



Fonte: elaborado pelos autores, 2026.

A análise comparativa entre os anos de 2022 e 2025, ilustrada na Figura 6, revela uma mudança de paradigma no comportamento do consumo elétrico do campus. Observa-se que, em anos anteriores, as linhas de tendência apresentavam inclinações mais acentuadas, refletindo um crescimento desordenado do consumo. Em contrapartida, o ano de 2025, marcado pela linha vermelha de destaque, apresenta uma curva que, embora acompanhe a sazonalidade acadêmica, mantém-se sob controle rigoroso, permitindo que as atividades da instituição se expandissem sem que o custo energético acompanhasse essa progressão de forma linear ou agressiva.

Gráfico 3 – Comparativo de Consumo Energético - Destaque 2025



Fonte: elaborado pelos autores, 2026.

No que tange à climatização, os resultados são particularmente expressivos quando comparados os anos de 2024 e 2025. Sob a gestão manual, o ritmo de aceleração mensal era de aproximadamente 1.288 kWh, caracterizado por saltos reativos e ineficientes. Com a automação, esse ritmo foi reduzido para 929 kWh mensais, tornando-se controlado e linear. O sistema permitiu mitigar o estresse de pico crítico que ocorria tradicionalmente em setembro; enquanto em 2024 atingiu o recorde histórico de 46.700 kWh, em 2025 esse valor foi reduzido para 44.800 kWh por meio de cortes programados que impediram disparadas na demanda térmica.

Quanto à iluminação e escalabilidade, o projeto demonstrou uma viabilidade técnica e financeira. A centralização do controle através da plataforma de automação possibilitou que o gerenciamento de uma sala inteira (climatização e iluminação) fosse realizado com um custo médio de apenas R\$ 153,20. Este baixo valor unitário de implementação indica que a solução

foi desenhada para rápida replicação, permitindo que a instituição deixe de depender da proatividade individual dos usuários e passe a operar sob um regime de conformidade automática e eficiente.

Sob a ótica da gestão pública e da economicidade, a análise da matriz de retorno financeiro evidencia que o projeto apresenta elevada sustentabilidade. Com um investimento direto total de R\$ 7.668,14 (incluindo equipamentos e bolsas de pesquisa), a instituição obteve um retorno que varia significativamente conforme a tarifa de energia elétrica aplicada.

No período fora de ponta, compreendido entre 22h e 18h59, estimou-se uma economia de R\$ 5.655,61. Já no período de ponta, compreendido entre 19h e 21h59, em que os custos energéticos são significativamente mais elevados, o potencial projetado de economia poderia alcançar aproximadamente R\$ 45.590,23. Essa diferença ocorre devido ao maior valor tarifário aplicado nesse intervalo, tornando o desligamento automatizado de equipamentos ainda mais relevante do ponto de vista financeiro.

Ressalta-se, contudo, que os valores apresentados correspondem a estimativas projetadas, uma vez que o campus não possui monitoramento individualizado do consumo energético por horário. Ainda assim, os resultados indicam que a utilização de tecnologias de automação possui elevado potencial de contribuição para a eficiência energética e para a otimização da aplicação dos recursos públicos.

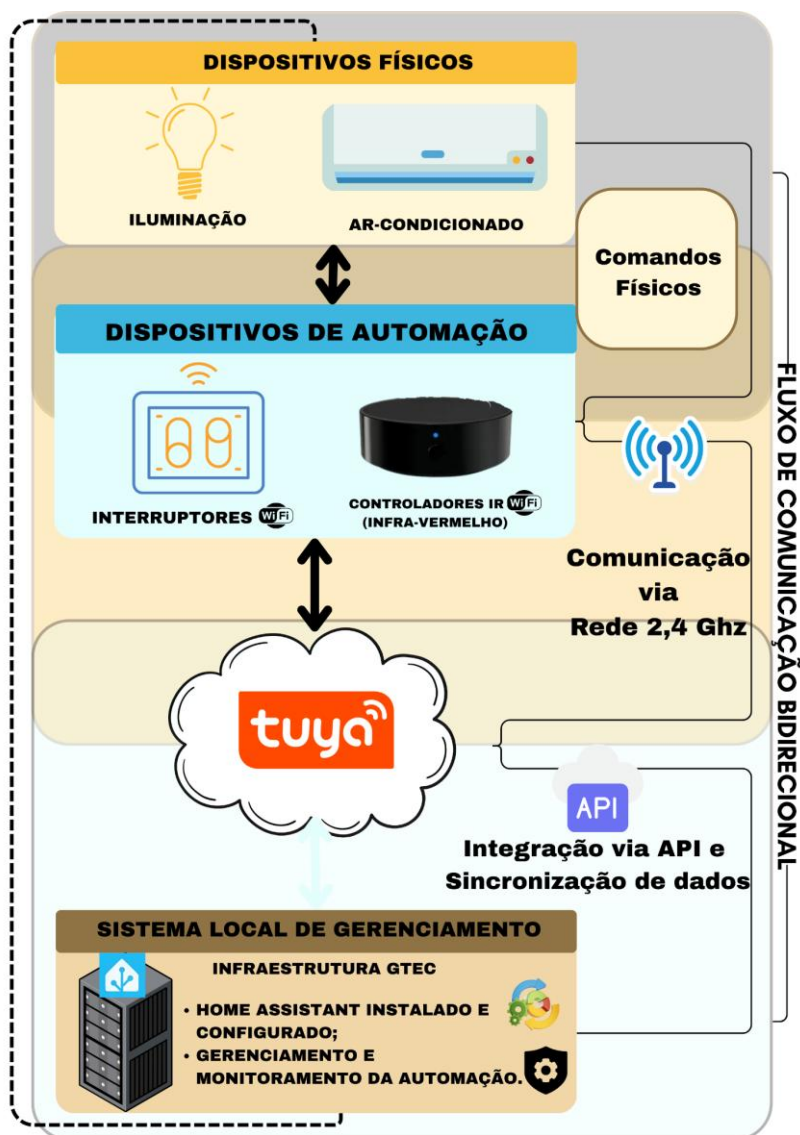
A dimensão da sustentabilidade (ESG) também foi quantificada, alinhando o IFRO às metas globais de descarbonização. A automação evitou a emissão de 0,987 tonelada de CO₂, o que equivale ao esforço de sequestro de carbono de até 7 árvores crescendo por 20 anos, ou ainda, ao impacto de deixar de rodar 5.000 km com um carro popular. Estes dividendos ambientais transformam a contenção de despesas operacionais em compromisso socioambiental mensurável.

Finalmente, destaca-se que o projeto reside na transformação de capital intelectual em ativos de eficiência operacional. Desenvolvido via Edital de Pesquisa com a colaboração de 3 professores e 5 alunos, o sistema prova que o investimento em pesquisa aplicada dentro dos Institutos Federais gera soluções de impacto para a própria administração pública. Destaca-se que a equipe não apenas desenvolveu a arquitetura do sistema, mas criou um modelo de gestão que pode ser replicado sistemicamente, garantindo a sustentabilidade da inovação tecnológica no Campus Porto Velho Zona Norte.

3.6 Modelo empírico de automação energética implementado

A partir da implementação da solução de automação no campus, foi possível estruturar um modelo empírico de referência que representa a arquitetura funcional do sistema desenvolvido. Esse modelo apresentado na Figura 7 organiza os componentes da automação em camadas, evidenciando a relação entre os dispositivos físicos, os mecanismos de controle, a plataforma de integração e o sistema local de gerenciamento.

Figura 6 – Modelo Empírico de Automação aplicada.



Fonte: elaborado pelos autores, 2026.

Na camada superior da Figura 6 encontram-se os dispositivos físicos, representados principalmente pelos sistemas de iluminação e equipamentos de climatização (ar-condicionado), considerados os principais pontos de consumo energético nos ambientes

institucionais. Esses elementos constituem a carga operacional do sistema e são diretamente impactados pelas ações de controle automatizado.

A segunda camada corresponde aos dispositivos de automação responsáveis pela intermediação entre os equipamentos físicos e o sistema de gerenciamento. Nessa estrutura destacam-se os interruptores inteligentes Wi-Fi, utilizados no acionamento da iluminação, e os controladores infravermelhos (IR), empregados no controle dos sistemas de climatização. Tais dispositivos possibilitam a execução remota dos comandos originalmente realizados por controle infravermelho convencional, reduzindo a dependência de acionamentos manuais presenciais.

A comunicação entre os dispositivos de automação e a plataforma de gerenciamento ocorre por meio da rede sem fio dedicada descrita na seção 3.3.1, cujos protocolos, topologia e limitações técnicas identificadas são detalhados na seção 3.6.1. O modelo também contempla a coexistência de comandos físicos convencionais, permitindo redundância operacional e acionamento manual quando necessário.

Na camada de integração destaca-se a utilização da plataforma em nuvem Tuya/Smart Life, responsável pela sincronização inicial dos dispositivos, gerenciamento da comunicação e disponibilização dos dados por meio de interfaces de programação de aplicações (APIs). Essa camada viabiliza a interoperabilidade entre os dispositivos inteligentes e o sistema local de gerenciamento.

Por fim, na camada inferior do modelo encontra-se o sistema local de gerenciamento implementado por meio do Home Assistant, instalado em uma máquina virtual hospedada na infraestrutura computacional do Grupo de Pesquisa em Tecnologia, Comunicação e Governança (GTEC). Essa camada é responsável pelo gerenciamento centralizado da automação, execução de rotinas programadas, monitoramento dos dispositivos e aplicação das regras de controle, incluindo o desligamento automático de iluminação e climatização em horários predefinidos.

O fluxo de comunicação do modelo caracteriza-se como predominantemente bidirecional (com a exceção discutida na seção 3.6.1 para os controladores IR), permitindo o envio de comandos e, na maior parte dos dispositivos, o recebimento de informações de estado. Essa arquitetura possibilita monitoramento em tempo real, execução automatizada de ações e maior eficiência operacional.

3.6.1 Arquitetura de rede e comunicação

A camada de comunicação do modelo empírico organiza-se segundo uma topologia em estrela, na qual todos os dispositivos de automação interruptores inteligentes Wi-Fi e controladores infravermelhos conectam-se ao ponto de acesso (Access Point) da rede sem fio institucional dedicada à automação, que por sua vez estabelece a comunicação com a plataforma em nuvem Tuya e, por integração via API, com o servidor Home Assistant hospedado na infraestrutura do GTEC. Essa topologia centraliza o fluxo de dados em um único ponto de agregação, simplificando o gerenciamento, o monitoramento e a identificação de falhas de conectividade.

No que se refere aos padrões de comunicação adotados, o ecossistema Tuya Smart opera segundo três camadas distintas. Na **comunicação padrão via nuvem**, os comandos originados no aplicativo ou no Home Assistant são enviados por meio de requisições HTTP/HTTPS à Tuya Cloud Development Platform, que expõe seus recursos por meio de métodos REST padronizados GET, POST, PUT e DELETE com autenticação baseada em assinatura HMAC-SHA256 e token de acesso (Tuya Developer Platform, 2025). A plataforma processa a requisição e a repassa ao dispositivo por meio do protocolo TuyaLink, baseado em MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), alterando o estado do hardware de destino. Segundo a documentação oficial da Tuya, a plataforma suporta a conexão de dispositivos por meio dos protocolos MQTT e HTTPS, com alta disponibilidade e escalabilidade automática dos clusters de processamento (Tuya Developer Platform, 2024).

Na **comunicação local via rede (LAN)**, quando o dispositivo de controle e o dispositivo IoT encontram-se na mesma sub-rede, é possível estabelecer comunicação direta por meio de pacotes de broadcast UDP para descoberta de dispositivos e conexões TCP criptografadas para envio de comandos, reduzindo a dependência da infraestrutura de nuvem e a latência das operações. Na **camada de comunicação interna ao hardware**, o módulo de conectividade Wi-Fi do dispositivo troca dados com o microcontrolador (MCU) da placa por meio de interface serial UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter), viabilizando a execução física dos comandos recebidos.

Cabe destacar uma limitação técnica identificada durante a operação do sistema: os controladores infravermelhos (IR) Tuya operam em modo de comunicação unidirecional, ou seja, enviam o sinal de controle ao equipamento de destino como um aparelho de ar-condicionado sem receber confirmação de execução ou retorno do estado atual do dispositivo. Esse comportamento, denominado controle cego (*blind control*), implica que o sistema de automação não possui meios nativos de verificar se o comando foi efetivamente executado pelo equipamento, constituindo uma limitação para o monitoramento preciso do estado dos

aparelhos de climatização. Em contraste, os interruptores inteligentes Wi-Fi operam em modo bidirecional: transmitem dados de telemetria como estado (ligado/desligado) e, em modelos com medição de energia, o consumo em tempo real simultaneamente para a nuvem Tuya e para o Home Assistant, viabilizando monitoramento e controle efetivos do ambiente (Tuya Developer Platform, 2024).

Por fim, registra-se como limitação operacional identificada ao longo da execução do projeto a ocorrência de desconexões esporádicas de dispositivos da rede Wi-Fi, resultando na perda temporária da automação nesses pontos. Esse comportamento está associado a instabilidades na camada de conectividade sem fio e representa um fator de risco para a confiabilidade do sistema em ambientes de uso contínuo. A mitigação dessa limitação constitui recomendação para trabalhos futuros, podendo envolver a adoção de protocolos alternativos com maior resiliência, como Zigbee ou Z-Wave, ou a implementação de mecanismos de monitoramento ativo com alertas automáticos de reconexão.

3.7 Desempenho da infraestrutura de redes na automação

A rede sem fio dedicada, segmentada por VLAN e protegida por autenticação WPA2 (seção 3.3.1), suportou a comunicação simultânea dos interruptores inteligentes e dos controladores infravermelhos distribuídos nas 13 salas de aula, nos 6 laboratórios e nos 3 setores administrativos automatizados, sem que fosse necessária a expansão da infraestrutura física de rede já existente no campus. Ao longo do período de operação, a equipe do projeto identificou, por meio de observação operacional, as desconexões esporádicas já descritas na seção 3.6.1, mas não verificou impacto relevante na execução das rotinas programadas de desligamento fora desses pontos pontuais. É importante registrar, contudo, que esse acompanhamento foi qualitativo: o projeto não empregou ferramentas dedicadas de monitoramento de rede (como medição de latência de comando, taxa de perda de pacotes, throughput ou intensidade de sinal RSSI por ambiente), de modo que a caracterização da estabilidade da rede deve ser entendida como uma observação operacional, e não como um resultado validado por instrumentação técnica. Para trabalhos futuros, recomenda-se a coleta sistemática dessas métricas, o que permitiria caracterizar com precisão a capacidade da rede, investigar a causa-raiz das desconexões observadas e identificar eventuais gargalos antes de uma expansão do número de dispositivos conectados.

Quanto à segurança, cabe observar que o protocolo WPA2, adotado na rede oculta configurada para os dispositivos, é o padrão mais utilizado atualmente em redes IoT residenciais e prediais, mas já possui vulnerabilidades conhecidas na literatura (como o ataque KRACK), sendo o WPA3 a recomendação técnica mais atual para novas implementações. A opção pelo WPA2 neste projeto provavelmente decorre da compatibilidade com o hardware IoT de baixo

custo já disponível no mercado, mas constitui um ponto de atenção para a evolução do projeto, especialmente à medida que a rede de dispositivos automatizados crescer. A segmentação lógica por VLAN já implementada (seção 3.3.1) mitiga parte do risco associado, ao isolar o tráfego de automação da rede acadêmica e administrativa; ainda assim, a migração para WPA3, quando houver suporte de hardware compatível, permanece como recomendação de aprimoramento.

Esses aspectos reforçam a relevância da infraestrutura de redes como elemento habilitador e não apenas coadjuvante da automação predial: escolhas de protocolo, autenticação e segmentação de rede têm impacto direto na robustez, na segurança e na escalabilidade da solução, o que aproxima diretamente este estudo do campo de formação em Redes de Computadores e aponta caminhos concretos de aprofundamento técnico para trabalhos futuros.

4 CONCLUSÕES E CONTRIBUIÇÃO TECNOLÓGICA E/OU SOCIAL

O presente trabalho teve como objetivo analisar o impacto da automação no consumo energético no contexto de uma instituição pública de ensino, a partir da implementação de um sistema baseado em dispositivos inteligentes integrados a uma plataforma open source de gerenciamento centralizado. A partir dos resultados obtidos, foi possível verificar que a automação contribuiu para o aprimoramento do controle sobre o uso da energia nos ambientes do campus.

A análise dos dados energéticos evidenciou que, embora o consumo apresente tendência de crescimento ao longo dos anos, houve uma redução no ritmo desse crescimento após a implementação da automação. Esse comportamento indica que a solução adotada atuou de forma eficaz na mitigação de desperdícios, especialmente aqueles associados à falha humana no uso de iluminação e sistemas de climatização.

Nesse sentido, os resultados demonstram que a automação não necessariamente reduz o consumo absoluto de energia em cenários de expansão institucional, mas promove maior eficiência no uso dos recursos disponíveis, tornando o consumo mais controlado e coerente com a demanda real dos ambientes.

Ao comparar o consumo energético do campus com o consumo médio residencial no Brasil da ordem de 200 a 220 kWh mensais por consumidor em 2024, conforme dados do Anuário Estatístico de Energia Elétrica (EPE, 2025), observa-se que a demanda institucional é significativamente superior em todos os períodos analisados. Essa diferença evidencia a magnitude do consumo energético do campus, que pode corresponder ao consumo de mais de cem residências, reforçando a complexidade da gestão energética em ambientes públicos de

ensino. Nesse contexto, os resultados sugerem que a adoção de estratégias de automação pode ser ainda mais relevante em escala, uma vez que pequenas otimizações operacionais tendem a gerar impactos absolutos maiores quando aplicadas em sistemas de grande porte.

Adicionalmente, embora não tenha sido possível automatizar a totalidade dos dispositivos de iluminação existentes no campus, verificou-se que todos os ambientes acadêmicos foram contemplados com a implementação da solução. Esse resultado indica que a estratégia adotada priorizou espaços diretamente relacionados às atividades de ensino, garantindo cobertura integral nesses ambientes e ampliando o impacto da automação no contexto institucional.

Além disso, a estruturação do modelo empírico permitiu consolidar uma arquitetura funcional da solução implementada, evidenciando sua aplicabilidade em outros contextos semelhantes. O modelo proposto organiza a automação em camadas, integrando dispositivos físicos, sistemas de controle, infraestrutura de rede e plataformas de gerenciamento, o que contribui para a replicabilidade da solução em outras instituições públicas.

Dessa forma, conclui-se que a utilização de tecnologias de automação, associadas a sistemas de monitoramento e controle, representa uma estratégia viável e eficiente para a gestão energética em ambientes institucionais. Os resultados obtidos reforçam a importância da adoção de soluções tecnológicas que reduzam a dependência de ações manuais, promovendo maior racionalização no uso da energia elétrica.

Por fim, como perspectivas futuras, destaca-se a possibilidade de ampliação do sistema para outros tipos de cargas elétricas, integração com sistemas de geração de energia e o uso de técnicas mais avançadas de análise de dados, como inteligência artificial, visando aprimorar ainda mais a eficiência energética da instituição.

5 AGRDECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO) – Campus Porto Velho Zona Norte, pelo apoio institucional e pela disponibilização da infraestrutura necessária para a realização desta pesquisa. Agradecemos aos profissionais da área de tecnologia da informação pelo suporte técnico e a todos os participantes que contribuíram com informações e experiências fundamentais para o desenvolvimento deste estudo.

REFERÊNCIAS

- ABRUCIO, Fernando Luiz. **Os avanços e os dilemas do modelo pós-burocrático: a reforma da administração pública à luz da experiência internacional recente.** In: BRESSER-PEREIRA, Luiz Carlos; SPINK, Peter (org.). *Reforma do Estado e administração pública gerencial*. Rio de Janeiro: Editora FGV, 1998. p. 173-200.
- AL-FUQAHA, Ala *et al.* **Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications.** *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, v. 17, n. 4, p. 2347-2376, 2015. DOI: 10.1109/COMST.2015.2444095. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095>. Acesso em: 3 jul. 2026.
- BRASIL. **Ministério da Gestão e da Inovação em Serviços Públicos.** *Estratégia Federal de Governo Digital 2024-2027*. Brasília, DF, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/governodigital/pt-br/estrategias-e-governanca-digital/sisp/egd2024/egd2024>. Acesso em: 3 jul. 2026.
- BRASIL. **Lei Complementar nº 101, de 4 de maio de 2000.** Estabelece normas de finanças públicas voltadas para a responsabilidade na gestão fiscal e dá outras providências. *Diário Oficial da União*: Brasília, DF, 5 maio 2000. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp101.htm. Acesso em: 3 jul. 2026.
- BRESSER-PEREIRA, Luiz Carlos. **A reforma do Estado dos anos 90: lógica e mecanismos de controle.** *Lua Nova: Revista de Cultura e Política*, São Paulo, n. 45, p. 49-95, 1998. DOI: 10.1590/S0102-64451998000300004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-64451998000300004>. Acesso em: 3 jul. 2026.
- ELHADI, Sakina *et al.* **Comparative Study of IoT Protocols.** *SSRN Electronic Journal*, 2018. DOI: 10.2139/ssrn.3186315. Disponível em: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3186315>. Acesso em: 3 jul. 2026.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2025: ano-base 2024.** Rio de Janeiro: EPE, 2025. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>. Acesso em: 3 jul. 2026.
- HOME ASSISTANT. *Home Assistant Documentation*. 2024. Disponível em: <https://www.home-assistant.io/docs/>. Acesso em: 3 jul. 2026.
- INSTITUTO FEDERAL DE RONDÔNIA (IFRO). **Resolução nº 71/REIT-CONSUP/IFRO, de 21 de setembro de 2018.** Institui a Política de Sustentabilidade e dispõe sobre a elaboração do Plano de Logística Sustentável no âmbito do Instituto Federal de Rondônia. Porto Velho: IFRO, 2018. Disponível em: <https://portal.ifro.edu.br/sustentabilidade>. Acesso em: 3 jul. 2026.
- ROCHA, Felipe; SANTOS, Luís Felipe; GAMELEIRA NETO, José; FERNANDES, Alan; BATISTA, Thais; CAVALCANTE, Everton. **Um sistema de gerenciamento e automação de climatização para eficiência energética.** In: **SEMINÁRIO INTEGRADO DE SOFTWARE E HARDWARE (SEMISH)**, 46., 2019. *Anais [...]* Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2019. p. 81-92. DOI: 10.5753/semish.2019.6569. Disponível em: <https://doi.org/10.5753/semish.2019.6569>. Acesso em: 3 jul. 2026.

SCHOOTSEN, Paulus. **10 years Home Assistant**. 2023. Disponível em: <https://www.home-assistant.io/blog/2023/09/17/10-years-home-assistant/>. Acesso em: 3 jul. 2026.

TUYA DEVELOPER. **User Manual: SmartLife App – Device Pairing (Wi-Fi Easy Connect Mode)**. 2024. Disponível em: https://developer.tuya.com/en/docs/app-development/activator_wifimode. Acesso em: 3 jul. 2026.

TUYA DEVELOPER PLATFORM. **Cloud Development: Device Connection – Industrial General Device Registration**. 2024. Disponível em: <https://developer.tuya.com/en/docs/iot/introduction-to-tuya-iot-platform?id=Ka6vijvqb3uhn>. Acesso em: 3 jul. 2026.

TUYA DEVELOPER PLATFORM. **API Request: Request Structure**. 2025. Disponível em: <https://developer.tuya.com/en/docs/iot/api-request?id=Ka4a8uu01j4t4>. Acesso em: 3 jul. 2026.