TECNOLOGIAS DIGITAIS E SUSTENTABILIDADE NA EDUCAÇÃO BÁSICA: MONITORAMENTO INTELIGENTE DO CONSUMO ENERGÉTICO EM LABORATÓRIOS DE INFORMÁTICA[1]

Kleber dos Santos Oliveira[2]
Dr. Allan Edgard Silva Freitas[3]
Dr. Rafael Freitas Reale[4]

INTRODUÇÃO

A ampliação do uso de computadores e outros equipamentos digitais na educação básica fortalece oportunidades pedagógicas, mas também aumenta as exigências de infraestrutura e manutenção. Nos laboratórios de informática, equipamentos podem permanecer ligados em períodos sem atividades, gerando consumo que não se traduz em uso educacional. A gestão desse gasto integra o desafio de assegurar acesso às tecnologias e, simultaneamente, administrar os recursos públicos de maneira sustentável.

Nesse contexto, a Internet das Coisas (IoT) articula dispositivos capazes de coletar e transmitir registros do ambiente. Sua combinação com modelos de Inteligência Artificial constitui a Inteligência Artificial das Coisas (AIoT), que permite reconhecer padrões e apoiar decisões a partir desses dados. Os Sistemas Computacionais Embarcados Reconfiguráveis (RECS) integram essa proposta ao distribuir tarefas de monitoramento, armazenamento e processamento entre dispositivos compactos. No estudo, essas tecnologias são reunidas em uma arquitetura voltada à identificação de estados de uso e de consumo elétrico.

A integração dessas tecnologias orienta a investigação sobre o monitoramento inteligente do consumo energético em laboratórios de informática e suscita a seguinte questão: de que modo a integração entre RECS e AIoT pode apoiar o monitoramento inteligente e a eficiência energética em laboratórios de informática sem comprometer seu funcionamento pedagógico. O objetivo é analisar essa possibilidade a partir do desenvolvimento de protótipos,

[1]Este artigo deriva do trabalho de pesquisa de mestrado “Uso combinado de RECS e AIoT na eficiência energética em laboratórios de informática”, desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas e Produtos do Instituto Federal da Bahia (PPGESP/IFBA).

[2]Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas e Produtos (PPGESP), Instituto Federal da Bahia (IFBA). E-mail: klesan@ifba.edu.br.

[3]Doutor em Ciência da Computação pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Professor orientador. E-mail: allan@ifba.edu.br.

[4]Doutor em Ciência da Computação pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Professor coorientador. E-mail: reale@ifba.edu.br.

da coleta de dados ambientais e elétricos e de técnicas de aprendizado de máquina aplicadas à identificação de padrões de consumo.

O estudo examina três configurações experimentais: um protótipo inicial em ambiente residencial, um sistema de contagem de pessoas por visão computacional e uma instalação em laboratório de informática do IFBA, Campus Simões Filho - Ba. As evidências de cada etapa são analisadas segundo sua origem. O recorte educacional desta comunicação reside na possibilidade de adaptação da arquitetura a escolas públicas de Educação Básica e nos requisitos de segurança, manutenção e continuidade das atividades que essa adaptação envolve.

METODOLOGIA

A pesquisa caracteriza-se como aplicada, com abordagem quantitativa e desenvolvimento experimental de soluções para o monitoramento energético. O percurso metodológico envolveu a construção de protótipos com sensores ambientais e medidores de consumo elétrico, o desenvolvimento de rotinas de coleta e transmissão de dados e a aplicação de técnicas de aprendizado de máquina para identificar padrões de utilização dos equipamentos.

Os experimentos compreenderam três etapas: o monitoramento inicial em ambiente residencial, a utilização de visão computacional para contagem de pessoas e a instalação de dispositivos de monitoramento em um laboratório de informática do IFBA. Os dados obtidos foram organizados e analisados considerando as características de cada configuração experimental e suas possibilidades de aplicação ao gerenciamento energético.

A camada de sensoriamento empregou microcontroladores ESP8266 e ESP32, detectores de presença, luminosidade, som, temperatura e umidade, além de medidores de consumo e acionamento da linha Sonoff POW. Em parte dos dispositivos, utilizou-se o firmware Tasmota. Foram explorados sensores de presença por infravermelho e micro-ondas, cuja resposta a condições ambientais distintas se mostrou relevante para a confiabilidade do monitoramento.

O processamento apoiou-se em unidades Raspberry Pi, com funções distribuídas entre monitoramento (Zabbix), visualização (Grafana), armazenamento (OpenMediaVault) e programas em Python. A comunicação entre dispositivos envolveu rede local, mecanismos de IoT e registros organizados em arquivos CSV. Essa arquitetura modular aproxima diferentes fontes de medição e permite reorganizar serviços conforme as capacidades de cada nó computacional.

A etapa inicial da pesquisa envolveu a instalação de um protótipo em ambiente residencial, utilizando um medidor de consumo elétrico Sonoff POW R2 e sensores conectados

a um microcontrolador ESP8266. Essa configuração possibilitou a coleta de dados para investigar a identificação do estado de acionamento de uma carga elétrica a partir de informações ambientais e temporais. Os registros obtidos foram submetidos a procedimentos de tratamento, com exclusão de leituras indisponíveis e padronização das variáveis utilizadas na análise.

Os dados coletados no primeiro protótipo foram tratados para excluir leituras indisponíveis e padronizar as variáveis utilizadas na análise. A base foi dividida em conjuntos de treinamento (80%) e teste (20%), aplicando-se a técnica SMOTE exclusivamente ao conjunto de treinamento para reduzir o desequilíbrio entre as classes. Para identificar o estado de acionamento da carga elétrica a partir de atributos ambientais e temporais, utilizou-se o algoritmo Random Forest (BREIMAN, 2001). O desempenho do modelo foi avaliado por meio da matriz de confusão e das métricas de acurácia, precisão, revocação e F1-score. Também foram examinadas as correlações e a importância dos atributos na classificação.

Na etapa seguinte, desenvolveu-se um protótipo de monitoramento da ocupação de ambientes por visão computacional. A solução utilizou uma câmera IP, transmissão de vídeo pelo protocolo RTSP e o modelo YOLOv3 para detecção e contagem de pessoas. Esse experimento permitiu investigar a utilização de imagens como fonte de informação sobre a presença de usuários, ampliando as possibilidades de monitoramento consideradas na pesquisa.

Posteriormente, foi realizada a instalação de um sistema de monitoramento em um laboratório de informática do Instituto Federal da Bahia (IFBA), integrando um microcontrolador ESP32, medidor de consumo Sonoff POW R3 e sensores de temperatura, umidade e presença. A coleta reuniu informações sobre potência elétrica, condições ambientais e movimentação no espaço, acompanhadas dos respectivos registros de data e horário. Os dados foram analisados quanto à regularidade das leituras e às condições de funcionamento dos equipamentos, incluindo a identificação de lacunas que poderiam comprometer o reconhecimento dos períodos de ociosidade.

Com base nessa configuração, desenvolveu-se uma rotina de automação que relaciona os registros de presença às medidas de potência elétrica para identificar situações de inatividade. O procedimento considera um intervalo de confirmação da ociosidade antes de iniciar o desligamento dos equipamentos. Inicialmente, são enviados comandos para o encerramento lógico dos computadores e, após um intervalo programado, ocorre a interrupção da alimentação elétrica. Essa sequência integra o monitoramento do consumo às condições de operação dos equipamentos, considerando a continuidade e a segurança das atividades desenvolvidas no laboratório.

REFERENCIAL TEÓRICO

O monitoramento contínuo do consumo é uma alternativa ao acompanhamento baseado exclusivamente em faturas e levantamentos ocasionais. Dias et al. (2023) discutem o uso de sensores e IoT para medição e controle energético, enquanto Munhoz (2020) analisa sua aplicação à gestão residencial. Nessas abordagens, a combinação entre registros elétricos e informações do ambiente pode revelar períodos de uso, demanda e ociosidade, oferecendo elementos para intervenções mais precisas.

A AIoT articula essas medições a modelos capazes de classificar estados de funcionamento e reconhecer padrões. Informações de potência podem ser relacionadas à presença, à luminosidade e aos horários para distinguir situações operacionais. O valor da análise preditiva depende, portanto, não apenas do algoritmo, mas da qualidade e da representatividade dos dados coletados no ambiente monitorado.

Nos RECS, funções de aquisição, processamento e armazenamento podem ser distribuídas por diferentes dispositivos de acordo com suas capacidades. Estudos de arquiteturas heterogêneas discutem essa adaptação como estratégia de desempenho e eficiência (GRIESSL et al., 2023; MIKA et al., 2023). A utilização de Raspberry Pi neste projeto dialoga também com aplicações de monitoramento energético em sistemas embarcados, como a desenvolvida por Pereira et al. (2018). O princípio é reunir serviços modulares e reconfiguráveis sem depender de uma infraestrutura única de grande porte.

No aprendizado supervisionado, Random Forest combina árvores de decisão para realizar classificações agregadas (BREIMAN, 2001). Sua aplicação possibilita investigar a relação entre sinais ambientais e estados de acionamento e examinar a importância relativa dos atributos. Acurácia de classificação, contudo, não é sinônimo de economia energética: a primeira mede o desempenho do modelo, enquanto a segunda requer comparação de consumo em condições de operação definidas.

A visão computacional constitui uma alternativa para estimar ocupação: YOLO, proposto por Redmon et al. (2016), identifica objetos em imagens e pode ser empregado na contagem de pessoas. No contexto escolar, seu uso deve considerar esforço computacional, conectividade e proteção de dados de estudantes. A escolha entre câmera e sensores convencionais envolve comparar a informação necessária com os custos técnicos e institucionais de obtê-la.

A eficiência energética em instituições educacionais deve ser compatível com a continuidade das atividades de ensino. Experiências de gerenciamento de computadores e discussões sobre uso racional de energia em edificações mostram a pertinência de reduzir cargas ociosas e acompanhar a infraestrutura (MILLER, 2018; IFSC, 2023a; IFSC, 2023b). Na educação básica, o desligamento seguro e a possibilidade de intervenção humana são condições para que a automação apoie, em vez de interromper, o uso pedagógico dos laboratórios.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são apresentados a partir das diferentes configurações experimentais desenvolvidas na pesquisa, considerando as informações produzidas pelo monitoramento, o desempenho dos modelos computacionais e as possibilidades de gerenciamento do consumo energético. A discussão relaciona esses resultados às condições de utilização dos laboratórios de informática e às perspectivas de aplicação das tecnologias na Educação Básica.

Da arquitetura proposta à produção de informações sobre o consumo

A arquitetura experimental articulou sensores, dispositivos embarcados e rotinas de análise em uma estrutura de serviços distribuídos. O agrupamento de Raspberry Pi permitiu separar monitoramento, visualização, armazenamento e execução de algoritmos, enquanto o firmware Tasmota e programas em Python organizaram leituras de potência, corrente, tensão e variáveis ambientais. Associados a horários e sinais de ocupação, esses registros tornam possível investigar não apenas quanto se consome, mas em quais circunstâncias os equipamentos permanecem energizados.

O desenvolvimento também revelou dificuldades de comunicação e integridade dos dados, incluindo registros incompletos e intervalos de aquisição irregulares. Para o gerenciamento automatizado, é fundamental diferenciar uma falha de transmissão de um ambiente efetivamente desocupado. A confiabilidade do fluxo de informações integra, assim, o próprio desempenho da solução.

Primeiro protótipo: dados ambientais e classificação do estado de acionamento

O primeiro protótipo foi instalado em ambiente residencial como etapa preparatória do sistema. Reuniu um medidor Sonoff POW R2 e sensores ambientais e de atividade para acompanhar uma carga elétrica. Os resultados dessa etapa caracterizam a classificação do

estado de acionamento no cenário de treinamento e teste, e não uma medida direta de economia obtida em laboratório escolar.

A aquisição inicial gerou 37.039 registros. Após a exclusão de 5.537 linhas com dados indisponíveis, permaneceram 31.502 observações válidas, aproximadamente 85% do total. O tratamento permitiu trabalhar com um conjunto de dados consistente para avaliação supervisionada e evidencia a necessidade de verificar a qualidade das medições antes da aplicação de modelos preditivos.

O modelo Random Forest foi avaliado em 6.301 registros, equivalentes a 20% das observações válidas. O V3 informa acurácia de 99,75% e F1-score de 99,38% para a classe menos frequente. Trata-se de desempenho de classificação do estado do relé, não de percentual de redução no consumo de energia. O resultado demonstra capacidade de reconhecimento no cenário experimental em que o modelo foi treinado e testado.

A análise da importância dos atributos destacou luminosidade, som e presença, entre outros sinais contextuais, como referências para a classificação. Cada variável, isoladamente, possui ambiguidades: a luz pode ser natural ou artificial, o som pode vir de outras fontes e a ausência momentânea de movimento não significa necessariamente ausência de pessoas. A leitura conjunta dessas informações é, portanto, mais adequada à caracterização do uso do ambiente.

Segundo protótipo: detecção de pessoas por visão computacional

O segundo protótipo integrou câmera IP, fluxo RTSP e YOLOv3 para detectar e contar pessoas. A aplicação registrou horários e número de indivíduos identificados, oferecendo uma medida de ocupação distinta da simples detecção de movimento. A utilização da visão computacional acrescentou demandas de processamento de imagens e transmissão de dados à arquitetura de monitoramento, evidenciando a importância de considerar o consumo computacional na escolha das soluções tecnológicas.

Após horas de execução, foram observados aumento da carga computacional, tráfego expressivo e aquecimento do dispositivo. Esses resultados indicam que câmeras podem oferecer informação mais detalhada, mas sensores menos exigentes podem ser preferíveis quando o objetivo é apenas indicar ocupação. Em escolas, a decisão também deve considerar a privacidade e a proteção dos estudantes.

Há ainda implicações específicas para o contexto escolar. Em ambientes frequentados por crianças e adolescentes, o uso de vídeo deve ser avaliado à luz da finalidade estrita do monitoramento, das regras de tratamento de dados e da proteção dos estudantes. Essa questão não decorre de uma falha do algoritmo, mas do fato de que a gestão de recursos físicos não dispensa responsabilidades institucionais sobre o modo como as informações são coletadas. A pesquisa, ao explorar caminhos distintos de detecção, oferece elementos para optar por soluções proporcionais às necessidades do laboratório, combinando desempenho técnico, custo energético e cuidado com os usuários.

Terceiro protótipo: medições no laboratório de informática

O terceiro protótipo foi instalado em laboratório do IFBA, com medidor Sonoff POW R3, sensores de temperatura e umidade e dois detectores de presença. A escolha do medidor considerou a corrente associada ao funcionamento simultâneo dos equipamentos. Diferentemente do primeiro ensaio, essa etapa produziu registros do próprio laboratório de informática.

Em um teste com dezoito computadores ligados na tela de acesso ao sistema, a potência registrada foi de aproximadamente 1.201 W. O valor evidencia a demanda necessária para manter equipamentos energizados mesmo sem atividade pedagógica em andamento e indica a importância de relacionar o consumo observado à ocupação e ao horário de utilização.

A base do laboratório reuniu 444.380 registros de variáveis elétricas, temporais e de presença. A coleta mostrou oscilações de potência e diferenças na resposta dos sensores, mas também intervalos irregulares e leituras indisponíveis. A quantidade de registros, assim, amplia o conhecimento sobre o ambiente sem dispensar o exame de consistência dos dados.

Os detectores de presença apresentaram respostas distintas: o sensor infravermelho registrou 98.206 ocorrências, enquanto o sensor por micro-ondas apresentou 380.081. A pesquisa discute possíveis interferências de posicionamento e sensibilidade. A discrepância reforça a necessidade de calibração e de verificação cruzada antes de transformar sinais de presença em comandos sobre a alimentação elétrica.

O sistema registrou pico de potência de 2.765 W, associado a corrente indicada de 18,31 A. A variação em relação ao consumo observado com os equipamentos em repouso demonstra a importância do dimensionamento de medidores, relés e circuitos de controle segundo as condições reais da instalação.

Também foi identificado consumo residual de estabilizadores entre 1 e 33 W, mesmo quando outros aparelhos conectados não estavam em funcionamento. O achado amplia o foco do gerenciamento energético: reduzir o desperdício envolve considerar os componentes auxiliares e as condições de alimentação do laboratório, não apenas o estado lógico dos computadores.

Da identificação da ociosidade ao desligamento seguro

A rotina de automação combina potência elétrica e sinais de presença e exige um período contínuo de ociosidade antes da intervenção. No V3, a verificação foi configurada para trinta minutos sem movimento detectado e potência inferior ao limiar definido. O intervalo evita que pequenas pausas se convertam imediatamente em desligamentos.

O procedimento ocorre em duas etapas. Inicialmente, são enviados comandos de encerramento lógico às estações; após sessenta segundos de segurança, o relé pode interromper a alimentação do circuito. Essa sequência busca proteger arquivos e processos em execução, diferenciando o gerenciamento inteligente de um corte elétrico abrupto.

A parametrização deve considerar o consumo residual, a agenda do laboratório e atividades nas quais não há movimento contínuo. A instituição precisa definir equipamentos e situações passíveis de desligamento, além de manter formas de intervenção manual. Dessa maneira, a automação se subordina às condições reais de uso e à segurança dos usuários.

Sustentabilidade e cultura digital na Educação Básica

Na educação básica, monitorar consumo, estado de acionamento e ocupação pode apoiar a manutenção de equipamentos, a organização do uso dos laboratórios e a identificação de períodos de desperdício. A integração entre tecnologia e sustentabilidade interessa especialmente às redes públicas, nas quais os recursos destinados à infraestrutura precisam assegurar a continuidade das atividades escolares.

Os dados de consumo também podem servir a práticas educativas sobre energia, cultura digital e responsabilidade coletiva, desde que apresentados sem exposição de informações pessoais. Essa possibilidade pedagógica decorre da arquitetura desenvolvida; sua aplicação depende do planejamento docente e não foi medida como resultado de aprendizagem nos experimentos realizados.

A adaptação para diferentes escolas exige considerar rede elétrica, conectividade, parque de equipamentos, equipe de suporte e horários de uso. A modularidade dos dispositivos

favorece a adequação da proposta, mas não substitui diagnóstico institucional. A principal contribuição da pesquisa é oferecer informações e mecanismos para decisões contextualizadas, sem comprometer a finalidade pedagógica do espaço.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho examinou a integração de Sistemas Computacionais Embarcados Reconfiguráveis e Inteligência Artificial das Coisas na gestão do consumo de laboratórios de informática. A articulação entre sensores ambientais, medição elétrica, serviços distribuídos e modelos de aprendizado de máquina permitiu registrar situações de uso, reconhecer padrões e construir uma rotina de atuação sobre equipamentos ociosos.

Os três protótipos produziram contribuições complementares. No ambiente residencial, a classificação do estado de uma carga apresentou desempenho elevado, medido por acurácia e F1-score. A experiência com visão computacional ampliou as possibilidades de estimar ocupação, mas evidenciou custos de processamento. No laboratório do IFBA, as medições revelaram variações de potência, diferenças entre detectores de presença e consumo residual de equipamentos auxiliares. A rotina proposta de desligamento em etapas incorpora a preocupação com integridade operacional.

Para a Educação Básica, a contribuição reside na possibilidade de adaptar essa arquitetura à gestão de laboratórios escolares, articulando eficiência energética, disponibilidade dos equipamentos e uso responsável das tecnologias. Sua implantação exige calibrar sensores, dimensionar cargas e ajustar regras de desligamento às rotinas pedagógicas. A investigação fornece uma base técnica para esse processo, enquanto avaliações de economia efetivamente alcançada em escolas dependerão de medições posteriores em condições comparáveis.

Palavras-chave: Tecnologias Digitais na Educação Básica; Eficiência Energética em Escolas; Laboratórios de Informática; AIoT (Inteligência Artificial das Coisas); Cultura e Gestão Digital Escolar.

REFERÊNCIAS

BREIMAN, Leo. Random forests. Machine Learning, v. 45, n. 1, p. 5–32, 2001. DOI: https://doi.org/10.1023/A:1010933404324.

DIAS, Felipe Pereira dos Santos et al. Internet das Coisas aplicada à Indústria 4.0 para controle e monitoramento de consumo de energia elétrica. Revista Brasileira de Mecatrônica, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 1–14, 2023. Disponível em: https://revistabrmecatronica.sp.senai.br/ojs/index.php/revistabrmecatronica/article/view/193.

GRIESSL, R. et al. Evaluation of heterogeneous AIoT accelerators within VEDLIoT. In: DESIGN, AUTOMATION & TEST IN EUROPE CONFERENCE & EXHIBITION (DATE), 2023. p. 1–6. DOI: https://doi.org/10.23919/DATE56975.2023.10137021.

IFSC – INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA. Eficiência energética na indústria. Florianópolis: IFSC, 2023a. Disponível em: https://sites.florianopolis.ifsc.edu.br/energif/files/2023/11/EFICIENCIA-ENERGETICA-NA-INDUSTRIA_compressed.pdf.

IFSC – INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA. Eficiência energética em edificações. Florianópolis: IFSC, 2023b. Disponível em: https://sites.florianopolis.ifsc.edu.br/energif/files/2023/11/EFICIENCIA-ENERGETICA-EM-EDIFICACOES_compressed.pdf.

MIKA, K.; PORRMANN, F.; KUCZA, N.; GRIESSL, R.; HAGEMEYER, J. RECS: a scalable platform for heterogeneous computing. In: IEEE 36th INTERNATIONAL SYSTEM-ON-CHIP CONFERENCE (SOCC), 2023. DOI: https://doi.org/10.1109/SOCC58585.2023.10256982.

MILLER, N. Automatic power management for instructional computers at Humboldt State University: a calculation of potential energy savings. 2018. 40 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Energia) – Humboldt State University, Arcata, 2018.

MUNHOZ, Emerson Cristiano. Uso da internet das coisas para gestão do consumo e eficiência energética residencial. 2020. 141 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2020. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/handle/11449/195824.

PEREIRA, Renata I. S.; DUPONT, Ivonne M.; CARVALHO, Paulo C. M.; JUCÁ, Sandro C. S. IoT embedded Linux system based on Raspberry Pi applied to real-time cloud monitoring of a decentralized photovoltaic plant. Measurement, v. 114, p. 286–297, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.09.033.

REDMON, Joseph; DIVVALA, Santosh; GIRSHICK, Ross; FARHADI, Ali. You only look once: unified, real-time object detection. In: IEEE CONFERENCE ON COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION (CVPR), 2016. p. 779–788. DOI: https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.91.