



Indústria 5.0: Oportunidades e Desafios
para Arquitetura e Construção

13º Simpósio Brasileiro de Gestão e
Economia da Construção e 4º Simpósio
Brasileiro de Tecnologia da Informação
e Comunicação na Construção

ARACAJU-SE | 08 a 10 de Novembro

1 MONITORAMENTO POR IOT NO AUXÍLIO À AVALIAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA OPERACIONAL DE AMBIENTE LABORATORIAL

IoT Monitoring to Assist Operational Energy Consumption Assessment in Laboratory Environment

Natália Nakamura Barros

Universidade Estadual de Campinas | Campinas, SP | n153213@dac.unicamp.br

Aran Montalvão Dias

Universidade Estadual de Campinas | Campinas, SP | a248116@dac.unicamp.br

Talia Simões dos Santos Ximenes

Universidade Estadual de Campinas | Campinas, SP | talia@unicamp.br

Regina Coeli Ruschel

Universidade Estadual de Campinas | Campinas, SP | ruschel@unicamp.br

RESUMO

O consumo de energia operacional de um edifício é informativo e pode não refletir adequadamente os impactos ambientais. Para tentar resolver este problema, sensores de Internet das Coisas podem auxiliar na coleta e análise de dados em tempo real, de modo a oferecer subsídios para uma Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) mais precisa. O principal objetivo desta pesquisa é compreender as necessidades, dificuldades e benefícios da implantação de monitoramento IoT no auxílio à avaliação do consumo de energia operacional de ambiente laboratorial. A condução deste artigo seguiu a metodologia de pesquisa experimental. A arquitetura IoT baseada em ACV utilizada possui 4 camadas, a saber: de percepção, dados, serviços e aplicações. A pesquisa concluiu que o monitoramento por IoT traz como benefícios dados mais precisos e consistentes para a avaliação de energia operacional como parte da ACV. Como dificuldade observou-se que a implantação depende da resolução de desafios técnicos e administrativos, pois a instalação e manutenção ainda é trabalhosa e necessitando de conhecimento específico para realizá-la, bem como o acompanhamento constante a fim de sanar eventuais problemas. O monitoramento por IoT é promissor, mas ainda necessita de muitos avanços em termos de tecnologia embarcada para poder ser utilizado de modo amplo e eficiente.

Palavras-chave: Energia operacional; Avaliação do ciclo de vida; Sensor; Internet das coisas; Arquitetura IoT.

ABSTRACT

A building's operational energy consumption is informative and may not adequately reflect environmental impacts. To try to solve this problem, IoT sensors can help collect and analyze data in real time to provide subsidies for a more accurate Life Cycle Assessment (LCA). The main objective of this research is to understand the needs, difficulties, and benefits of implementing IoT monitoring to help evaluate operational energy consumption in a laboratory. The conduction of this article followed the methodology of experimental research. The LCA-based IoT architecture used has 4 layers, namely: perception, data, services, and applications. The research concluded that IoT monitoring benefits more accurate and consistent data for operational energy assessment as part of LCA. As a difficulty, it was observed that the implementation depends on the resolution of technical and administrative challenges, since the installation and maintenance is still laborious and requires specific knowledge to carry it out, as well as constant monitoring to remedy any problems. IoT monitoring is promising, but still needs many advances in terms of embedded technology to be widely and efficiently used.

Keywords: Operational energy; Life cycle assessment; Sensor; Internet of things; IoT architecture.

1 INTRODUÇÃO

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é um método para avaliar os impactos ambientais em todo o ciclo de vida do produto. No ciclo de vida de edificações, a ACV calcula os impactos desde a extração da matéria-prima, passando pela construção e uso, até a demolição e disposição final dos resíduos da construção civil. A fase de uso da edificação é dividida em uso, manutenção, reparo, substituição, remodelação, uso de água operacional e uso de energia operacional (BSI, 2011).

O consumo de energia pode ser dividido em energia operacional, referente a fase de uso da edificação e energia embutida, referente ao consumo de energia durante as outras fases, excluída a operação (CROWTHER, 1999). Ainda que existam métodos para o desenvolvimento de cálculos e indicadores, o

¹BARROS, N.N.; DIAS, A.M.; XIMENES, T.S.S.; RUSCHEL, R.C. A. Monitoramento por IoT no auxílio à avaliação do consumo de energia operacional de ambiente laboratorial. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 4., 2023, Aracaju. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2023.

consumo de energia operacional ainda é estimado. Do ponto de vista do ciclo de vida, o consumo total de energia de um edifício ao longo da sua vida útil esperada é informativo e pode não refletir adequadamente os impactos ambientais, que podem variar amplamente dependendo das fontes de energia, tempo de uso e localização geográfica do edifício.

No que se refere à coleta de dados para ACV, a forma tradicional de coleta ainda é manual, e o processo de avaliação busca dados em bases existentes (TAO et al., 2014), o que diminui a sua confiabilidade e precisão. Além disso, em muitos estudos verifica-se a ausência de dados (ANAND; AMOR, 2017). ACVs realizadas no Brasil, por exemplo, utilizam dados em sua maioria extraídos de bases de dados internacionais e adaptados para o contexto brasileiro (GOMES et al., 2018). Deste modo, um dos principais desafios da ACV relaciona-se principalmente à disponibilidade e à qualidade dos dados (REAP et al., 2008). Quando se trata do consumo de energia operacional do edifício, pode ser feita uma simulação computacional para estimar o consumo, ou, caso o edifício já exista, é calculada uma média de consumo dos últimos três meses, sendo este valor multiplicado pelo tempo de vida útil do edifício. Entretanto, estes métodos não consideram a variação de uso do ambiente, por exemplo, no caso de edificações institucionais, o período de férias escolares, ou possíveis variações do número de ocupantes.

A falta de informações temporais é uma limitação importante para a ACV (LEVASSEUR et al., 2010), que a tecnologia IoT pode combater. As quantidades de consumo de materiais, fluxos de entrada e saída e mix de energia variam em diferentes horizontes de tempo, devido, por exemplo, a: variação no comportamento dos ocupantes, fatores característicos dinâmicos e fatores de ponderação dinâmica (SU et al., 2017). A tecnologia IoT pode proporcionar a coleta de dados de consumo de energia e impacto ambiental em tempo real, inteligente e dinâmica, abrangendo a multi estrutura (partes e componentes do produto) e multiníveis (projeto, fabricação, transporte, uso e reciclagem) da ACV do produto (TAO et al., 2014). Sensores de Internet das Coisas auxiliam na coleta de dados em tempo real, de modo a oferecer subsídios para uma análise de ACV mais precisa e condizente com a realidade. Um sistema IoT é composto de vários blocos funcionais para facilitar várias utilidades ao sistema, como detecção, identificação, atuação, comunicação e gerenciamento. Existem várias arquiteturas específicas de domínio com base nas áreas amplas, tais como: arquitetura orientada a serviços, RFID, rede de sensores sem fio, gerenciamento da cadeia de suprimentos, indústria, saúde, cidade inteligente, logística, qualidade de vida, computação em nuvem, computação social e segurança. A seleção desses domínios depende do cenário atual de aplicabilidade da IoT (RAY, 2018).

A arquitetura orientada a serviços (Service-Oriented Architecture – SOA) é uma forma de arquitetura de tecnologia que adere aos princípios de apoio à tarefas específicas (ERL, 2005). Com base na SOA, uma arquitetura IoT para ACV pode ser constituída também por 4 camadas principais: (i) percepção, que consiste na coleta de dados em tempo-real, através de RFID, wireless, mobile e sensores, embedded object logic, object ad-hoc networking, e infraestrutura de informação baseada na internet; (ii) dados; (iii) serviços, que consistem nos serviços básicos, computacionais e de análise e avaliação e; (iv) aplicação, que consiste no fornecimento de dados da avaliação para diferentes usuários (BARNI et al., 2018; BARROS; RUSCHEL; SILVA, 2019; TAO et al., 2014b).

Esta pesquisa utilizou a arquitetura SOA para implantação de IoT para monitorar o consumo de energia de um ambiente laboratorial. O principal objetivo desta pesquisa é compreender as necessidades, dificuldades e benefícios da implantação de monitoramento IoT no auxílio à avaliação do consumo de energia operacional de ambiente laboratorial.

2 MÉTODO

A condução desta pesquisa seguiu a metodologia de pesquisa experimental. A pesquisa experimental consiste em analisar os efeitos que determinadas variáveis causam em um certo objeto de estudo, definindo formas de observação e de controle das mesmas (GIL, 2002). O delineamento do método encontra-se na Figura 1. Ressalta-se que a pesquisa experimental, por não se limitar apenas à observação das variáveis envolvidas no processo e seus efeitos, pode propor soluções para diversos problemas, como o uso inteligente dos recursos disponíveis.

Figura 1: Delineamento do método utilizado na pesquisa

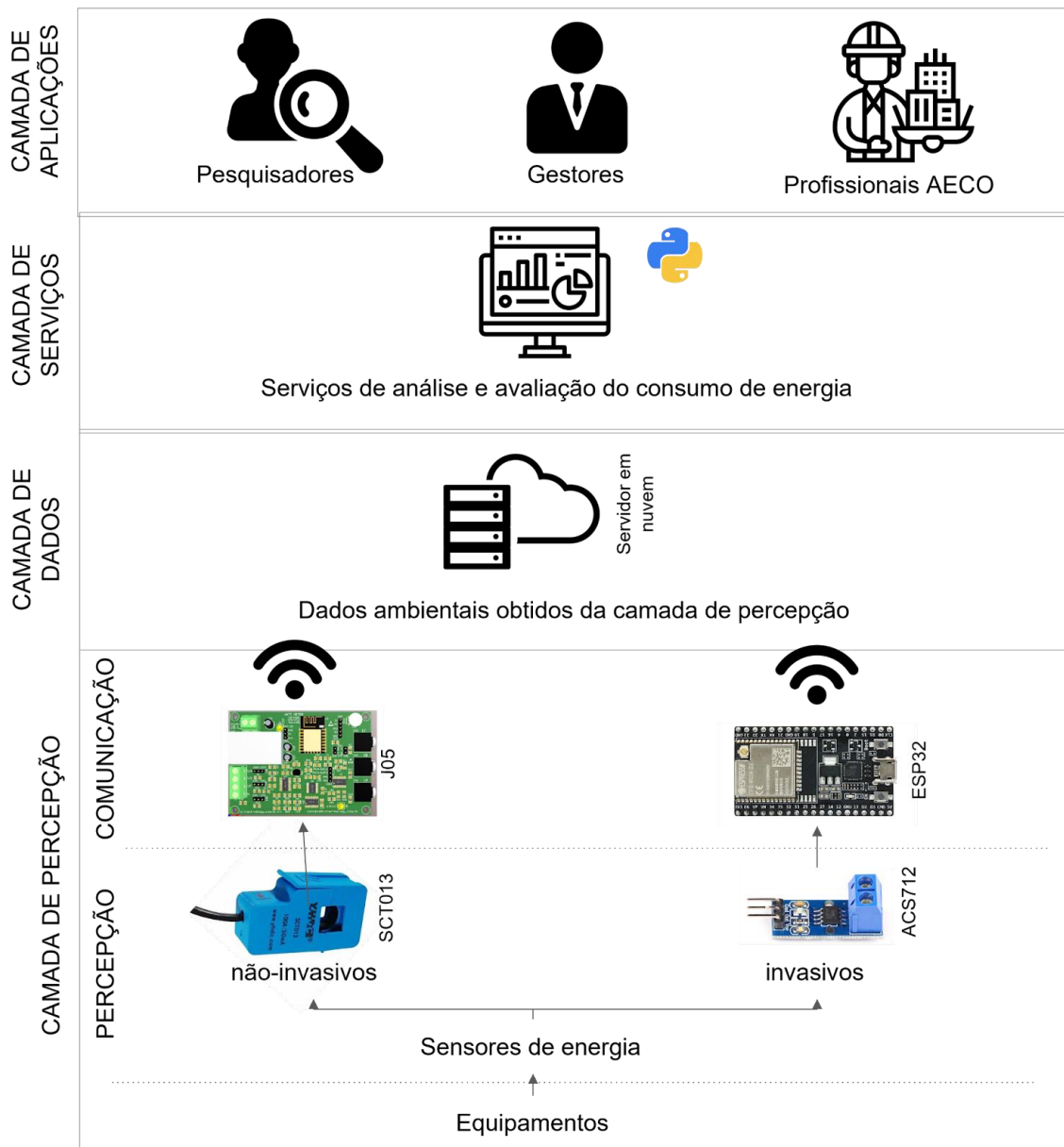


Fonte: Os autores.

3 RESULTADOS

Nesta pesquisa foi utilizada a arquitetura IoT orientada a serviços, com 4 camadas, a saber: camada de percepção, camada de dados, camada de serviços e camada de aplicações, conforme explicitado na Figura 2.

Figura 2: Esquema da Arquitetura IoT no auxílio à avaliação do consumo de energia operacional



Fonte: Os autores.

3.1 Camada de Percepção

A camada de percepção é responsável pela coleta de dados dos equipamentos do laboratório. Os sensores de energia utilizados separam-se em dois tipos: não-invasivos (SCT013) e invasivos (ACS712), registrando os dados dos equipamentos constantes no Quadro 1.

Nota: * Há equipamentos que, em razão das condições de funcionamento do laboratório, compartilham o mesmo ponto de alimentação, tal como ocorre com as Balanças, Britador e Policorte, Moto-Esmeril, Peneirador Pequeno e Adensador de Argamassa. Com isso, esses equipamentos compartilham os mesmos sensores de corrente, sendo identificado qual deles está operando naquele momento por meio de sensores de fim de curso instalados no plug dos equipamentos.

Quadro 1: Equipamentos laboratoriais monitorados

	EQUIPAMENTO	MARCA	MODELO	TENSÃO	SENSOR INSTALADO	QTD.
1	Máquina Universal de Ensaios	EMIC	Instron EMC 23-600	220V	SCT 013	2
2	Computador / Monitor (Máquina Universal de Ensaios)	ACER	-----	220V	ACS712 30A	1
3	Estufa com Circulação e Renovação de Ar	Tecnal	TE 394/5	220V	ACS712 30A	1
4	Argamassadeira (Grande)	G. Paniz	BP 18C	220V	ACS712 30A	1
5	Argamassadeira (Pequena)	Contenco - Pvatest	C3010	Trifásico	ACS712 30A	3
6	Máquina Universal de Ensaios - Sistema Hidráulico	EMIC	-----	Trifásico	SCT 013	3
7	Computador / Monitor (Máquina Universal de Ensaios)	LG	Flatron L177WS	110V	ACS712 30A	1
8	Peneirador Mecânico (Grande)	Contenco - Pavitest	-----	220V	ACS712 30A	1
9	Peneirador Mecânico (Pequeno)	Contenco - Pavitest	C1016	220V	ACS712 30A	1
10	Moto - Esmeril de Bancada	Manrod	MR-032.20	220V		
11	Adensador de Argamassa	ERCA	-----	220V		
12	Máquina Universal de Ensaios (Concreto)	Contenco - Pavitest	C3025A	Trifásico	SCT 013	3
13	Máquina Universal de Ensaios (Argamassa)	Contenco - Pavitest	C3022	Trifásico	SCT 013	3
14	Capela de exaustão	-----	-----	Trifásico	ACS712 30A	3
15	Balança - 100 kg	Marte	-----	220V	ACS712 30A	1
16	Balança - 50 kg	Marte	LS 50	220V		
17	Balança - 6 kg	Shimadzu	UX6200H	220V		
18	Balança - 5 kg	Marte	AS5500C	220V		
19	Balança - 0,5 kg	Marte	AL500C	220V		
20	Betoneira (Grande - 220 L)	Fischer	-----	Trifásico	SCT 013	3
21	Betoneira (Pequena - 120 L)	CSM	CS120L	220V	ACS712 30A	1
22	Britador (Triturador Mecânico)	Sahara	-----	Trifásico	SCT 013	3
23	Policorte	Ferrari	-----	Trifásico		
24	Retífica (Motor Siemens)	ERCA	-----	Trifásico	SCT 013	3
25	Máquina de Bloco	Sahara	LX3P14072	220V	ACS712 30A	1
26	Compressor de Ar	-----	-----	Trifásico	ACS712 30A	3
27	Vibrador de agulha	-----	-----	Trifásico	ACS712 30A	3
28	2x Ar condicionado	Fortaine	-----	Trifásico	SCT 013	6

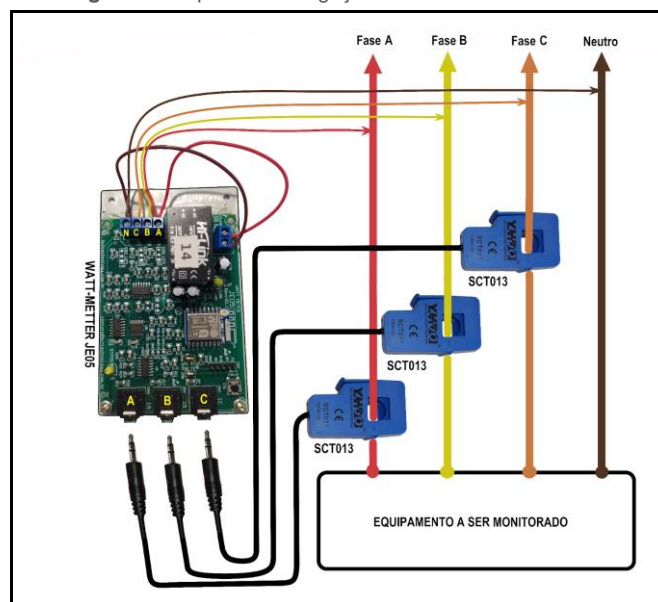
Fonte: Os autores.

Os sensores são conectados a dispositivos que são responsáveis pela comunicação dos dados coletados, o WATT-METER JE05 e o ESP32. Cada aparelho realiza medições e completa o envio de dados aproximadamente a cada 1 minuto, conectando-se ao Wi-Fi local.

O WATT-METER JE05, desenvolvido pela Bintechnology, foi escolhido para medir o consumo de energia elétrica nos equipamentos de maior potência, sendo protegido por uma caixa plástica preta com dimensões 116x75x32 mm. Este aparelho utiliza o sensor não invasivo SCT013 (versão 100A - 50mA) para medições de corrente, registrando no processo diversas variáveis para as suas 3 entradas, como tensão elétrica, corrente elétrica, fator de potência, potência ativa, potência reativa, potência aparente, consumo em kWh, entre outros. Além disso, cada WATT-METER JE05 ficou responsável pelo monitoramento de um único equipamento

A Figura 3 exemplifica o método de instalação e fixação dos aparelhos, cuja instalação requereu o desligamento temporário da rede elétrica do laboratório. Ao todo, foram instalados 9 (nove) WATT-METER JE05 que monitoram os seguintes equipamentos: Ares-Condicionados, Máquinas de Ensaio EMIC-Instron, EMIC-Hidráulica, Contenco Pavitest C3025A, Contenco Pavitest C3022, Betoneira Grande, Britadeira, Retífica, Policorte. Todos foram posicionados próximos às respectivas fontes de alimentação dos equipamentos monitorados. Além disso, a Britadeira e o Policorte tiveram que compartilhar o mesmo aparelho de monitoramento, tendo sido feito um aparato simples que identifica qual é o equipamento que está operando através de sensores de fim curso.

Figura 3: Esquema das Ligações WATT-METTER JE05



Fonte: Os autores.

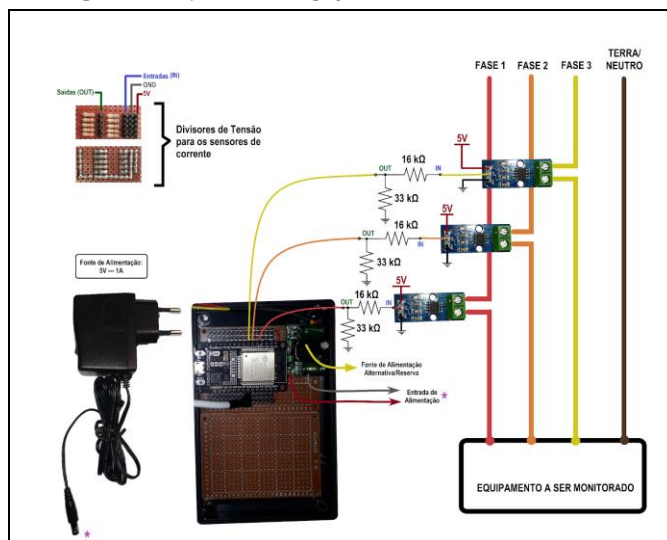
O outro tipo de dispositivo foi montado manualmente por meio da plataforma do ESP32. Para as medições foi escolhido o sensor invasivo ACS712 30A. A escolha desses componentes teve a finalidade de reduzir custos, aumentar a precisão nas medições nos equipamentos de menor potência e instalar sensores de outras naturezas. Em razão da quantidade de sensores monitorados, os aparelhos montados com ESP32 se limitaram apenas à medição de corrente elétrica dos equipamentos, não possuindo voltímetros instalados. Portanto, cálculos de fator de potência, potência reativa e outros não puderam ser realizados, sendo feito um cálculo da potência em Volt-Ampère baseando-se na tensão de operação do respectivo equipamento.

A Figura 4 representa o esquema de ligações para medição de corrente de um equipamento trifásico, tal como a Capela de Exaustão. Para equipamentos monofásicos ou bifásicos apenas um sensor de corrente por equipamento bastava. Ressalta-se que cada ESP32 pôde gerenciar múltiplos sensores de corrente de equipamentos diferentes, aproveitando-se de suas entradas analógicas. Esse circuito é protegido por uma caixa, por onde entram os cabos que são ligados aos sensores. Ao todo foram construídas 6 plataformas como essa, monitorando os seguintes equipamentos: máquina universal de ensaios, peneirador mecânico, moto-esmeril, adensador de argamassa, argamassadeira, balanças, betoneira, máquina de bloco, vibrador de agulha etc.

3.2 Camada de Dados

A camada de dados é responsável pelo armazenamento dos dados coletados na camada de percepção. Os dados são enviados a um servidor em nuvem por MQTT (Message Queuing Telemetry Transport). Cada dispositivo foi cadastrado na plataforma com ID, usuário e senha MQTT, e seus dados foram organizados dentro de certos canais e métricas de acordo com a natureza da informação enviada. O canal que armazena o consumo de energia dos dispositivos foi denominado "energy" e a métrica "KVARHT". O serviço em nuvem escolhido para o armazenamento dos dados pertence à IoT Konker Platform (Paas), que também armazena os dados do Smart Campus. A periodicidade de envio dos dados varia conforme o número de sensores monitorados, latências na rede internet, falhas de comunicação, entre outros.

Figura 4: Esquema das Ligações na Plataforma do ESP 32



Fonte: Os autores.

O Quadro 2 mostra a data de início da coleta dos dados, bem como a periodicidade das coletas.

Quadro 2: Data de Início das Medições e Periodicidade Média da coleta dos dados

	EQUIPAMENTO	MARCA	DATA DE INÍCIO	PERIODICIDADE
1	Máquina Universal de Ensaios	EMIC	04/01/2022	82 segundos
2	Computador / Monitor (Máquina Universal de Ensaios)	ACER	17/10/2022	29 segundos
3	Estufa com Circulação e Renovação de Ar	Tecnal	17/10/2022	62 segundos
4	Argamassadeira (Grande)	G. Paniz	17/10/2022	29 segundos
5	Argamassadeira (Pequena)	Contenco - Pavitest	17/10/2022	62 segundos
6	Máquina Universal de Ensaios - Sistema Hidráulico	EMIC	11/08/2022	82 segundos
7	Computador / Monitor (Máquina Universal de Ensaios)	LG	12/12/2022	58 segundos
8	Peneirador Mecânico (Grande)	Contenco - Pavitest	08/12/2022	25 segundos
9	Peneirador Mecânico (Pequeno)	Contenco - Pavitest	17/10/2022	58 segundos
10	Moto - Esmeril de Bancada	Manrod	17/10/2022	220V
11	Adensador de Argamassa	ERCA	17/10/2022	220V
12	Máquina Universal de Ensaios (Concreto)	Contenco - Pavitest	11/08/2022	82 segundos
13	Máquina Universal de Ensaios (Argamassa)	Contenco - Pavitest	11/08/2022	82 segundos
14	Capela de exaustão	-----	17/10/2022	29 segundos
15	Balança - 100 kg	Marte	17/10/2022	66 segundos
16	Balança - 50 kg	Marte	17/10/2022	220V
17	Balança - 6 kg	Shimadzu	17/10/2022	220V
18	Balança - 5 kg	Marte	17/10/2022	220V
19	Balança - 0,5 kg	Marte	17/10/2022	220V
20	Betoneira (Grande - 220 L)	Fischer	11/08/2022	82 segundos
21	Betoneira (Pequena - 120 L)	CSM	17/10/2022	64 segundos
22	Britador (Triturador Mecânico)	Sahara	19/08/2022	82 segundos
23	Policorte	Ferrari	19/08/2022	Trifásico
24	Retífica (Motor Siemens)	ERCA	19/12/2022	82 segundos
25	Máquina de Bloco	Sahara	17/10/2022	64 segundos
26	Compressor de ar comprimido	-----	08/12/2022	25 segundos
27	Vibrador de agulha	-----	17/10/2022	64 segundos
28	2x Ar condicionado	Fortaine	12/05/2022	82 segundos

Fonte: Os autores.

O WATT-METER JE05 envia todas as grandezas elétricas medidas para o servidor via Wi-Fi, organizando os dados coletados dentro de um canal nomeado como “energy” por meio das “métricas”. Para cada uma das fases A, B e C são registrados valores de tensão elétrica, corrente elétrica, potência e fator de potência, ao mesmo tempo que calcula o consumo total em Wh e VARh do equipamento ligado. A plataforma do ESP32 também conecta-se ao Wi-Fi local enviando ao mesmo servidor dados coletados de corrente elétrica em mili-Ampère e potência elétrica em Volt-Ampère, organizando essas informações dentro de canais nomeados como “Corrente_[mA]” e “Potência_[W]”, respectivamente. Dentro desses canais, estão organizados nas “métricas” os equipamentos monitorados por aquele dispositivo.

Em razão das dimensões do laboratório e de obstáculos entre os dispositivos, foram utilizados 3 pontos de acesso Wi-Fi posicionados de forma distribuída na região do laboratório, com o objetivo de diminuir quedas na comunicação com o servidor. Todavia, como todos os roteadores dependem da rede internet da própria faculdade, manutenções na rede local e outras falhas ainda podem resultar na perda dos dados, visto que os aparelhos de monitoramento não armazenam as informações coletadas. Assim, os valores registrados mais confiáveis são aqueles instantâneos, como tensão, corrente, potência e fator de potência, exigindo que esses dados sejam extraídos do servidor e cálculos sejam realizados para a obtenção do consumo.

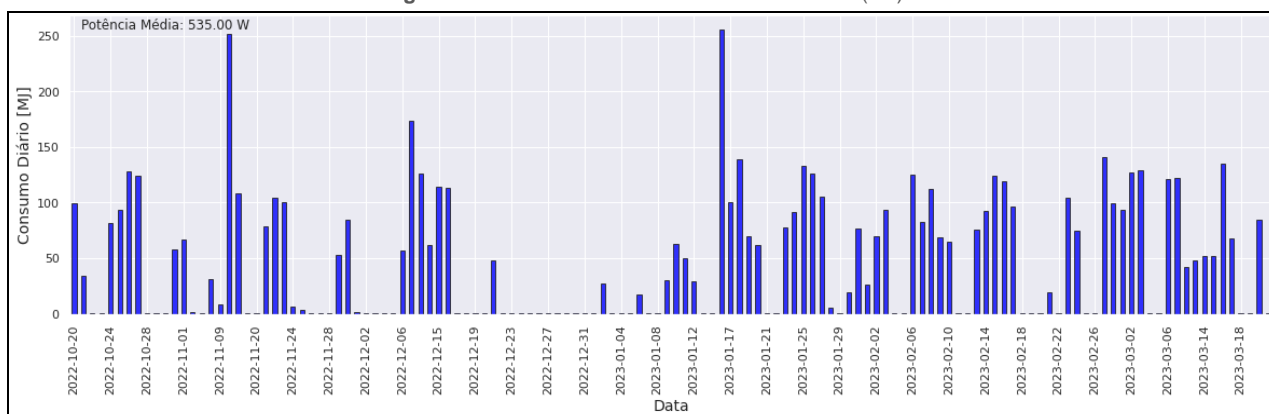
3.3 Camada de Serviços

A camada de serviços é responsável pela análise e avaliação dos dados. Os dados coletados foram, inicialmente, pré-processados, através dos processos de limpeza, transformação e redução dos dados. Este processo foi realizado em linguagem Python, no qual os dados eram extraídos diretamente da plataforma de armazenamento e processados.

Os dados armazenados no servidor foram recuperados e analisados por meio de programação Python, através do Google Colab. Os dados enviados ao servidor remetem a medição instantânea de corrente e potência do equipamento, portanto para obter o consumo de energia, foi necessário multiplicar o valor de potência ativa registrada pelo tempo decorrido. As informações obtidas foram sintetizadas na forma de gráficos históricos para os equipamentos que apresentaram consumo mais significativo, sendo estes o ar-condicionado (Figura 5 e Figura 6), a estufa (Figura 7) e as balanças (Figura 8). A unidade dos dados de consumo de energia foi transformada de kV para MJ, devido ser esta a unidade mais utilizada neste tipo de avaliação ambiental.

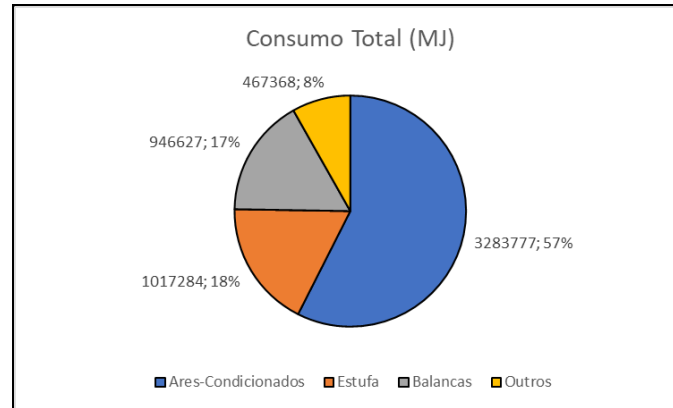
O ar-condicionado possui um consumo constante quando está ligado e este zero quando é desligado. A estufa, no momento em que é ligada gera um consumo maior, devido à necessidade de aquecimento e este consumo diminui, apenas para manter a temperatura, zerando quando a mesma é desligada. Já no caso das balanças, observa-se que estas consomem muita energia, mesmo quando estão desligadas, o que demonstra a necessidade de manutenção das mesmas.

Figura 5: Consumo diário do Ar-Condicionado-01 (MJ)



Fonte: Os autores.

Figura 9: Síntese Geral de Consumo de Energia Total dos Equipamentos do Laboratório (MJ)



Fonte: Os autores.

É notável a influência dos Ares-Condicionados no consumo energético total do laboratório (57,46%), assim como a Estufa (17,80%). Todavia, foi observado um consumo incomum para uma das balanças do laboratório. Especificamente a Shimadzu UX6200H teve um consumo muito alto considerando o seu pequeno porte (16,56%). O motivo é um defeito em sua fonte de alimentação que consome algo em torno de 1,5 A de corrente mesmo com a balança em Stand-By, operando em uma tensão elétrica de 220V. Embora a corrente não seja alta, ela fica consumindo essa energia 24 horas por dia, resultando nesses gastos. Essa corrente foi confirmada por meio de medições usando um multímetro digital.

O alto consumo da balança desencadeou outras observações relevantes. Por exemplo, quando um equipamento de alta corrente é ligado, outros sensores de corrente invasivos próximos detectam um pico nas suas atividades, sendo possível saber qual é o equipamento através do pico de corrente mais intenso. Provavelmente, a razão disso sejam as harmônicas que são transmitidas pela rede elétrica e que afetam os sensores do tipo invasivos. Dessa forma, os valores de corrente registrados na balança interferiram negativamente nos dados registrados da Argamassadeira Pequena, visto que compartilham da mesma rede de alimentação. Tal característica se repete para os equipamentos Vibrador de Agulha, Betoneira Pequena, Máquina de Bloco e Peneirador Grande, pois se conectam ao mesmo Quadro de Distribuição. Essas observações são importantes para auxiliar no processamento dos dados coletados.

3.4 Camada de Aplicações

A camada de aplicações é responsável principalmente por fornecer dados de avaliação para diferentes usuários, que são as partes interessadas que demandam os serviços da ACV, como: pesquisadores, gestores e profissionais da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO). Nesta implementação, a aplicação foi voltada para os pesquisadores. Esta camada ainda está em desenvolvimento, a partir da construção de um Gêmeo Digital que permitirá a visualização e análise dos dados em tempo real.

4 CONCLUSÃO

O uso de IoT pode auxiliar na obtenção de dados ambientais de forma mais precisa e consistente. O cálculo para estimativa dos impactos ambientais de determinada edificação é feito, geralmente, a partir de dados oriundos de bases de referências, que muitas vezes não refletem adequadamente os impactos reais, uma vez que a maioria destas bases são de outras localidades e contextos. A IoT pode, deste modo, fornecer dados temporais, permitindo uma análise mais precisa, uma vez que leva em consideração também possíveis mudanças sazonais que podem ocorrer durante o uso da edificação, como por exemplo a redução do consumo durante o período de férias ou feriados.

Os principais benefícios da instalação referem-se à coleta de dados precisos, a possibilidade de verificar e comparar o consumo de energia dos equipamentos, verificar potenciais problemas de equipamentos que necessitam de manutenção ou o uso incorreto dos mesmos. Além disso, a periodicidade que foi alcançada na coleta de dados aumentou bastante a precisão das medições e a consciência situacional das atividades desenvolvidas no laboratório, detectando com maior facilidade o consumo dos equipamentos que são ligados e desligados mais rapidamente.

As necessidades da implantação de monitoramento IoT incluem o estudo e a adaptação às condições de instalações elétricas do local, dimensionamento dos dispositivos e dos sensores de monitoramento para cada caso, montagem dos circuitos, desenvolvimento de programação e calibração dos aparelhos, configuração da comunicação com o servidor, número de sensores a serem instalados, entre outras necessidades. Essas etapas visaram facilitar o processo de projeto, instalação e configuração dos aparelhos de monitoramento, ao mesmo tempo em que tivesse a mínima interferência nas atividades do laboratório e nas medições realizadas.

As principais dificuldades encontradas foram resolução de problemas relacionados a ruídos indesejados nas medições de corrente, especialmente nos sensores invasivos, controle da periodicidade no envio dos dados, diminuição das falhas de comunicação, permissões e agendamentos para o uso do laboratório e da rede de internet local, aquisição dos componentes eletrônicos e de ferramentas envolvidos no projeto etc. No processo de instalação dos sensores, ficou evidente que o manuseio dos aparelhos empregados não é prático do ponto de vista comercial, exigindo conhecimentos sobre instalações elétricas e programação. Portanto, a solução e os métodos aplicados se adequaram exclusivamente às condições do laboratório, não tendo sido desenvolvido um aparelho de uso geral tal como os Smart-Plugs que são encontrados no mercado. A vantagem é que os dispositivos construídos tiveram menor custo, permitiam o controle total de seu funcionamento e a possibilidade de emprego de sensores de outras naturezas, não somente relacionados à grandezas elétricas.

São inúmeros os desafios para implementação de IoT. Este artigo mostrou a etapa de especificação e instalação de sensores IoT para ACV, demonstrando os benefícios e dificuldades. Para a análise de sazonalidade e estatística é necessária a coleta de dados por um período maior, que ocorrerá em momento posterior da pesquisa. A pesquisa utilizou como ambiente de estudo um laboratório, mas se formos expandir esta pesquisa para edificações ou mesmo cidades, os desafios se tornam ainda maiores, uma vez que são necessários técnicos com conhecimento específico para instalar e realizar a manutenção destes dispositivos. Outra limitação, refere-se à disponibilidade de energia e internet de boa qualidade e intermitente para comunicar os dados. O monitoramento por IoT para auxiliar a avaliação do consumo de energia será possível quando os dispositivos já virem com sensores embarcados, o projeto e construção da edificação ou infraestrutura já inclua a inclusão da IoT e a infraestrutura de comunicação seja o suficiente para coletar, comunicar, armazenar e analisar a grande quantidade de dados coletados. O monitoramento por IoT é promissor, mas ainda necessita de muitos avanços em abordagens macro para poder ser utilizado de modo mais amplo e eficiente.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – Código de Financiamento 428604/2018-8.

REFERÊNCIAS

- ANAND, Chirjiv Kaur; AMOR, Ben. Recent developments, future challenges and new research directions in LCA of buildings: A critical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** v. 67, p. 408–416, 2017.
- BARNI, Andrea et al. Exploiting the Digital Twin in the Assessment and Optimization of Sustainability Performances. In: 2018 INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT SYSTEMS (IS), set. 2018. **Proceedings...** IS, 2018. p. 706–713.
- BARROS, N.N.; RUSCHEL, R.C.; SILVA, V.G. ESQUEMA CONCEITUAL DE INTERNET DAS COISAS PARA ACV NA FASE DE USO DE EDIFICAÇÕES. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 2, 2019, Campinas. **Anais...** Campinas: ANTAC, 2019.
- BSI, British Standards Institution. **BS EN 15978: 2011 Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings**. Calculation method. London: BSI, 2011.
- Crowther, P. Design for disassembly to recover embodied energy. In: Proceedings of the 16th annual conference on passive and low energy architecture. Melbourne–Brisbane–Cairns, Australia; 1999. **Proceedings...** Melbourne–Brisbane–Cairns: 1999.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002
- GOMES, Vanessa; SAADE, M.R.M.; LIMA, B. W. F.; SILVA, M. G.. Exploring lifecycle energy and greenhouse gas emissions of a case study with ambitious energy compensation goals in a cooling-dominated climate. **Energy and Buildings**, v. 1, p. 1, 2018.

LEVASSEUR, Annie et al. Considering Time in LCA: Dynamic LCA and Its Application to Global Warming Impact Assessments. **Environmental Science & Technology**, v. 44, n. 8, p. 3169–3174, 2010.

RAY, P. P. A survey on Internet of Things architectures. **Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences**, v. 30, n. 3, p. 291–319, 1 jul. 2018.

REAP, John et al. A survey of unresolved problems in life cycle assessment. **International Journal of Life Cycle Assessment** n. 13, p. 290–300, 2008.

SU, Shu et al. BIM-DLCA: An Integrated Dynamic Environmental Impact Assessment Model for Buildings. **Building and Environment**, v. 183, p. 107218, 1 out. 2020.

TAO, Fei et al. Internet of Things and BOM-Based Life Cycle Assessment of Energy-Saving and Emission-Reduction of Products. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 10, n. 2, p. 1252–1261, 2014a.