17ª Edição do Prêmio ABRAFAC
Melhores do Ano
São Paulo - Brasil

Eficiência Energética na UNICAMP: Considerações sobre Gestão de Facilidades

Rafael Negreiros de Paiva [1]

[1] Engenheiro Civil, Mestre em Engenharia Civil
faelpaiva@gmail.com

RESUMO

No ciclo de vida de uma edificação, a etapa de Uso envolve a operação e manutenção de um edifício. Estas atividades são realizadas no contexto da Gestão de Facilidades (Facility Management - FM) que também abrange uma variedade de outros tipos de gerenciamento, como a gestão de energia. A FM requer uma abordagem integrada de uma organização, criando um ambiente que dê apoio a seus objetivos principais. Essa abordagem integrada fornece informações e dados para planejadores, projetistas e gestores de instalações. A FM é uma atividade complexa que envolve diferentes agentes, em quantidade, com considerável variabilidade de serviços. Há interesse em incorporar avanços da Indústria 4.0 à prática de FM, levando a inovações estratégicas com a Internet das Coisas (Internet of Things - IoT). Com esses aspectos em mente o objetivo desta pesquisa é identificar valor com a incorporação de IoT na prática de FM, particularmente na gestão de energia e eficiência energética no âmbito de um campus universitário, a UNICAMP. A pesquisa será descritiva, realizada pelo método Estudo de Caso. Os instrumentos de coleta de dados serão a entrevista não estruturada (perguntas abertas), observação participante (registros fotográficos), visitas técnicas, observações presenciais e análise documental. Como resultado da pesquisa buscamos obter uma descrição detalhada da gestão de energia e do monitoramento do consumo e geração de energia na universidade e a caracterização dos processos de aquisição, processamento, análise e entrega dos dados coletados e aplicação na Gestão de Facilidades.

Palavras-chave: Gestão de Facilidades; Gestão de Energia; IoT.

1. INTRODUÇÃO

A Gestão de Facilidades (FM) como área de atuação, tanto no setor privado quanto no público e também acadêmico, possui tímida representatividade e reconhecimento da real potencialidade que suas diversas gestões podem trazer para as suas instituições. Uma das gestões é a Gestão de Energia e a potencialidade que traz é um ambiente energeticamente eficiente.

A Internet das Coisas (IoT), sensoriamento e monitoramento de edifícios e ambientes de trabalho inteligentes vem mudando drasticamente onde e como as pessoas trabalham. Tais avanços tecnológicos estão transformando, inclusive, a maneira como se imagina, planeja, desenvolve, utiliza e gerencia as instalações (EHRENBERG, 2017). A IoT permite que objetos físicos “vejam”, “ouçam”, “pensem” e executem tarefas fazendo com que eles troquem informações e coordenem decisões. A IoT faz isso por meio de duas categorias básicas de tecnologias: sensores e protocolos de comunicação.

Gestão de Facilidades e Internet das Coisas (IoT) ainda não tem sido bem explorada em conjunto em pesquisas brasileiras e é pouco abordada também internacionalmente. O IoT possibilitará que as mais variadas informações das diversas gestões existentes na FM possam ser agrupadas, interpretadas e processadas.

O FM terá um papel de destaque para que sua organização atinja os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU). A Gestão de Energia, uma das funções do FM, é fundamental e impacta no sucesso de mais de um dos objetivos da ODS. Estar ciente do consumo de energia de suas edificações, possuir geração de energia limpa e sustentável e consumir esses recursos de maneira eficiente e racional estão no escopo de Gestão de Energia e faz parte do objetivo da ODS relacionado à energia. Se faz necessário repensar como a energia é consumida, gerada e gerida. E essa preocupação tem partido de todos os níveis da sociedade, desde governos de países até o usuário final.

O consumo de energia elétrica tem aumentado ao longo dos anos, tanto por demanda em watts quanto do custo de sua geração. Isso se deve tanto por maior potência instalada em edificações, equipamentos obsoletos e ineficientes, maior demanda dos usuários, condições climáticas e ambientais e perdas no sistema de distribuição. Em particular nos campus universitários públicos brasileiros é agravada pela falta de recursos, maioridade de recursos destinada a folha de pagamento, burocracias para investimento de recursos da iniciativa privada, obsolescência de suas infraestruturas e suas reais demandas de consumo.

O consumo de energia elétrica nas Universidades Federais brasileiras representa o terceiro maior gasto das contas anuais destas instituições (Chamada 001-2016, ANEEL), sendo a maior parte deste consumo destinado para a climatização de ambientes. Os condicionadores de ar representam o maior percentual de consumo na conta de energia elétrica em edificações entre 35% a 60% dependendo da tecnologia, porte, atributos diversos do local instalado e do regime de uso.

Existe um interesse crescente na utilização de novos meios para atender a Norma de Desempenho ABNT NBR 15575-1:2021, que explora conceitos de durabilidade dos sistemas e a manutenibilidade da edificação. A Norma se aplica aos sistemas que compõem edificações habitacionais, projetados, construídos, operados e submetidos a intervenções de manutenção que atendam às instruções específicas do respectivo manual de uso, operação e manutenção. Por sua vez a manutenibilidade da edificação e atender as intervenções acima são atribuições do profissional de Gestão de Facilidades.

O Projeto Campus Sustentável é uma parceria entre a Unicamp e a CPFL Energia, que se iniciou em agosto de 2017, com investimento no âmbito dos programas de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) e PEE (Programa de Eficiência Energética) da ANEEL

(Agência Nacional de Energia Elétrica). O Projeto visa melhorar a infraestrutura do campus e, através do estudo e desenvolvimento de novas tecnologias, aprimorar o ensino e a pesquisa, transformando a Unicamp no maior Laboratório Vivo de Sustentabilidade Energética da América Latina.

Com investimento iniciais de R$ 9,5 milhões, no âmbito dos programas de P&D e PEE da ANEEL o projeto tem a ambição de estabelecer um modelo de gestão e eficiência energética que possa ser replicado em outras instituições de ensino superior do Brasil e da América Latina.

Além de economizar energia e dinheiro para a Universidade, a infraestrutura do projeto também será integrada ao sistema de ensino e pesquisa, explorando o conceito de que o Campus possa ser visto como um Laboratório Vivo para o estudo e desenvolvimento de novas tecnologias. Sendo assim o projeto corrobora com a atividade fim da instituição, o ensino e a pesquisa.

1.1. Objetivos

O objetivo desta pesquisa é identificar como foi feita a gestão de facilidades, utilizando-se da internet das coisas, com ênfase na eficiência energética no campus da Unicamp.

1.1.1. Objetivos Específicos

Esta pesquisa apresenta como objetivos específicos:
i) Analisar o Projeto Campus Sustentável na Universidade Estadual de Campinas e suas considerações sobre gestão de facilidades;
ii) Identificar, a partir do estudo de caso e da revisão bibliográfica levantada, qual o papel do Gestor de Facilidades na gestão de energia do campus;
iii) Identificar quais funcionalidades de IoT que podem ser integradas ao Gerenciamento de Facilidades e se elas foram integradas no estudo de caso;
iv) Identificar geração de valor para outras áreas da Universidade a partir do monitoramento da energia elétrica e da gestão que será feita a partir do monitoramento.

2. METODOLOGIA

Este estudo analisa o ambiente de Gestão de Facilidades, constituído por um campo interdisciplinar que se ocupa da coordenação de edificações, infraestruturas, pessoas e organizações. Trata-se de uma pesquisa de cunho exploratório/descritivo. A estratégia escolhida da pesquisa foi o Estudo de Caso, uma vez que permite um estudo profundo e exaustivo de alguns objetos do estudo de modo que habilita seu conhecimento amplo e detalhado por parte do pesquisador (GIL, 2010).

Estudos de caso são estratégias escolhidas quando o pesquisador tem pouco controle sobre os acontecimentos e quando o foco se encontra em fenômenos contemporâneos inseridos em algum contexto da vida real (YIN, 2005). Ainda segundo o autor, estudo de caso permite uma investigação para se preservar as características holísticas e significativas dos acontecimentos da vida real, tais como ciclos de vida individuais, processos organizacionais e administrativos.

Yin (2005) enfatiza que a metodologia adotada é a estratégia mais escolhida quando é preciso responder a questões do tipo “como” e “por quê” e quando o pesquisador possui pouco controle sobre os eventos pesquisados.

Merriam (1988) lista quatro características essenciais do método de estudo de caso:

1. *Particularístico* - o estudo de caso se concentra em uma situação, evento, programa ou fenômeno particular, tornando-o um bom método para estudar problemas práticos da vida real;
2. *Descritivo* - o produto de um estudo de caso é uma descrição detalhada do tópico em estudo;
3. *Heurístico* - um estudo de caso ajuda as pessoas a entender o que está sendo estudado. Novas interpretações, novas perspectivas, novos significados e novas percepções são objetivos de um estudo de caso;
4. *Indutivo* - a maioria dos estudos de caso depende do raciocínio indutivo onde princípios e generalizações emergem de um exame dos dados.

Embora não possam ser generalizados, os resultados obtidos devem possibilitar a disseminação do conhecimento, por meio de possíveis generalizações ou proposições teóricas que podem surgir do estudo (YIN, 2005).

Como instrumentos para coleta de informações, a pesquisa irá utilizar a abordagem qualitativa que produz resultados combinados segundo três procedimentos principais: a entrevista, análise de documentos e observação (FLICK, 2009). A entrevista seguirá modelo não estruturado, com perguntas abertas. Além dos procedimentos mencionados, a pesquisa também conta com visitas técnicas as instalações do estudo de caso e observações presenciais como forma adicional de coleta de dados.

Com estes três métodos de coleta de dados e as visitas técnicas teremos a descrição detalhada da gestão de energia, do monitoramento do consumo de energia das unidades e, assim, a eficiência energética do campus e a caracterização dos processos de aquisição, processamento, análise e entrega dos dados coletados e aplicação na FM.

Destaca-se que esta pesquisa tem a autorização do Comitê de Ética em Pesquisa da Unicamp, submetida à Plataforma Brasil e tem o seu depósito no nº CAAE: 36766520.4.0000.8142. A Plataforma Brasil é a base nacional e unificada de registros de pesquisas com seres humanos, seja qual for o nível de interação envolvido.

2.1. Questões do Projeto

- Qual é a motivação para monitoramento do sistema energético do Campus?
- Como é realizado este monitoramento e o que é monitorado?
- Quais são as análises realizadas com os dados coletados?
- Como o monitoramento pode ser integrado às atividades existentes de FM?

2.2. Proposições do Estudo

Apresentar as possibilidades de implementação do sistema de gestão de eficiência energética para o Campus Sustentável na Unicamp, tais como:

- Possibilidade de redução de custo da energia final;
- Melhoria no bem-estar dos usuários e colaboradores;
- Otimização dos recursos energéticos, considerando uma gestão integrada;
- Alinhamento dos objetivos da universidade com objetivos sustentáveis mundiais (ODS – Eficiência Energética).

2.3. Escolha do Estudo de Caso

O projeto Campus Sustentável foi escolhido devida a oportunidade de pesquisar um projeto institucional, da disponibilidade de contato com os colaboradores dos projetos, da

realização de visitas técnicas e do próprio interesse do projeto Campus Sustentável na realização da pesquisa, uma vez que o tema (FM) era desconhecido.

Todavia apesar de ser um estudo de caso único, o caso estudado em questão justifica plenamente um estudo único do ponto de vista metodológico.

2.4. Estudo de Caso – Projeto Campus Sustentável

O Estudo de Caso se iniciou pelo acompanhamento do projeto Campus Sustentável e a gestão de suas facilidades, com foco em eficiência energética. Para isso contou-se com a colaboração do escritório do Campus Sustentável. O Campus Sustentável é considerado uma empresa institucional vinculada à Universidade para fins de estudo e pesquisa. A instituição pode ser vista como um Laboratório Vivo (Fig. 1) para o estudo e desenvolvimento de novas tecnologias (PAIVA; KANAI; FONTANINI; 2020).

Figura 1: Laboratório Vivo do Projeto

Fonte: Campus Sustentável (2020).

O que motivou a criação deste projeto, com ênfase em Eficiência Energética, foi o consumo da Unicamp estar todo vinculado a uma única conta de consumo para o campus inteiro. Essa forma de apresentação não permite verificar o consumo por unidade e tampouco identificar qual unidade precisaria de uma remodelagem no seu projeto de consumo de energia. Desconhecia-se também qual unidade poderia ser um potencial gerador de energia sustentável para o campus através de painéis fotovoltaicos (PV) (PAIVA; KANAI; FONTANINI; 2020).

Este projeto consiste em um ecossistema de inovação aberto, através da integração entre usuários, academia e mercado (empresa privada). Esta nova forma de gerar inovação e produtos permite alinhar as possibilidades técnico-científicas (pesquisa) com os desejos dos usuários e a viabilidade de implantação pelo mercado. Assim, o conhecimento gerado será aplicado, conforme as necessidades existentes no meio regional do laboratório vivo, financiado por uma parceria público-privada, com aplicações e testes reais, com alto potencial de gerar inovação (PAIVA; KANAI; FONTANINI; 2020).

O projeto prevê uma duração total de 51 meses, com início em agosto de 2017 e por meio dele se pretende obter economia gradativa com gastos em eletricidade na Unicamp. A economia será resultado de oito ações integradas: *i)* a instalação de um moderno sistema de medição do consumo de energia elétrica de cada edifício, conectado em tempo real ao centro de operação do sistema; *ii)* a construção de sistemas de geração solar fotovoltaica; *iii)* a substituição de aparelhos de ar condicionado antigos por aparelhos modernos e eficientes e a

troca de lâmpadas por de menor consumo; *iv)* a introdução de ônibus elétrico no sistema de transporte circular interno do Campus; *v)* a instalação de sensores (IoT) para auxiliar os usuários a melhorar o uso de energia em ambientes fechados; *vi)* o desenvolvimento de um plano de etiquetagem para os edifícios do Campus; *vii)* a melhoria do processo de contratação de energia elétrica da Universidade; *viii)* e a elaboração de um programa de capacitação em eficiência energética que atinja alunos, funcionários, professores e gestores, além da comunidade externa (CAMPUS SUSTENTÁVEL, 2020).

Com a execução e divulgação desse projeto a Unicamp, que hoje é vista como um modelo de sucesso em ensino e pesquisa, pretende também se colocar como um modelo de gestão e eficiência energética para outras grandes universidades no Brasil e países vizinhos. Os docentes do Projeto trabalham de forma voluntária e o Projeto está aberto para a participação de novos voluntários (CAMPUS SUSTENTÁVEL, 2020).

2.4.1. Foco na Energia Sustentável

Uma edificação só pode ser considerada sustentável, do ponto de vista energético, se a energia que ela consome vier de uma matriz energética limpa e renovável. Um exemplo da matriz acima é a energia solar.

A energia solar é adquirida através de células fotovoltaicas (Fig. 2) expostas à incidência da radiação luminosa, onde elementos semicondutores absorvem energia dos fótons da radiação e os convertem em eletricidade.

Figura 2: Células fotovoltaicas

A energia gerada pelos painéis solares é em corrente contínua. A corrente utilizada em residências, empresas e no próprio campus é a corrente alternada, assim é necessário um equipamento denominado Inversor (Fig. 3) para converter a corrente contínua em corrente alternada.

Figura 3: Inversores de energia fotovoltaica

Figura 4: Destaque leitura inversor

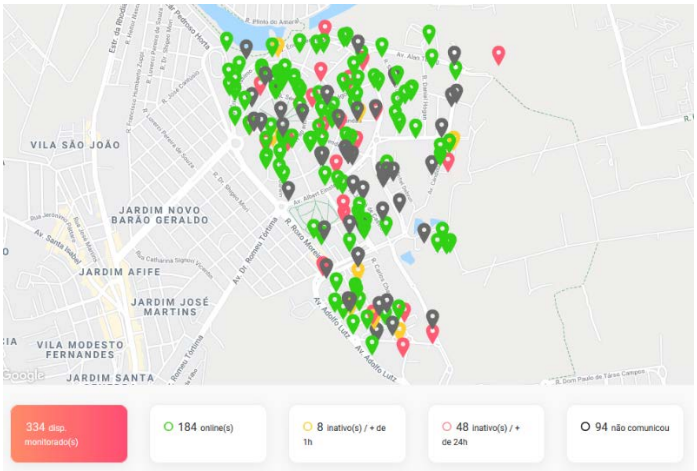
Os inversores também atuam como medidores de energia inteligente, comunicando-se através de rede wifi e informando ao Centro de Operações a energia gerada em tempo real pelos painéis fotovoltaicos (Fig. 4).

A implantação de geração renovável na Unicamp é uma iniciativa importante para diminuir o custo com a compra de energia da universidade, incentivar e divulgar a área de geração fotovoltaica no país e estabelecer um laboratório vivo para pesquisa, treinamento e formação de técnicos e especialistas em geração de energia fotovoltaica (CAMPUS SUSTENTÁVEL, 2020).

Esta pesquisa se enquadra no objetivo de Energia Limpa e Acessível da ODS. Este sétimo objetivo visa assegurar o acesso universal, confiável, moderno e a preços acessíveis a serviços de energia.

São 8 unidades com matriz solar instalada, com geração total de 534 kWp (kilo Watt pico), sendo 63% gerado apenas por 1 unidade. A universidade conta com 334 transformadores de energia (Fig. 5), cada um monitorado por um medidor inteligente.

Figura 5: Situação medidores de energia



3. ANÁLISE DE DADOS

Como o estudo de caso vale-se de procedimentos de coleta de dados dos mais variados, o processo de análise e interpretação pode, naturalmente, envolver diferentes modelos de análise (GIL, 2010). Em se tratando de estudos exploratório-descritivos são realizadas tanto descrições quantitativas e/ou qualitativas quanto acumulação de informações detalhadas como as obtidas por intermédio da observação e entrevistas (MARCONI; LAKATOS, 2010).

O objetivo da análise de dados é apresentar um estudo de caso novo, com as suas particularidades.

Portanto não será utilizado métodos estatísticos.

3.1. Medidores Inteligentes e Centro de Operação

Para cada transformador de energia existe um medidor monitorando em tempo real grandezas elétricas associadas à medição e análise da energia entregue aos consumidores internos da rede elétrica, de forma a se poder inferir a estratificação de carregamento e sua análise de perfil de consumo.

Com o auxílio da plataforma Neras (banco de dados das informações dos medidores) foram identificadas duas situações de potência instalada dessoantes da realidade no campus, sendo um de superdimensionamento e outro com operação próxima a capacidade máxima do transformador. Ambas as situações foram pontuais, a plataforma ainda não foi utilizado para análises por todo campus.

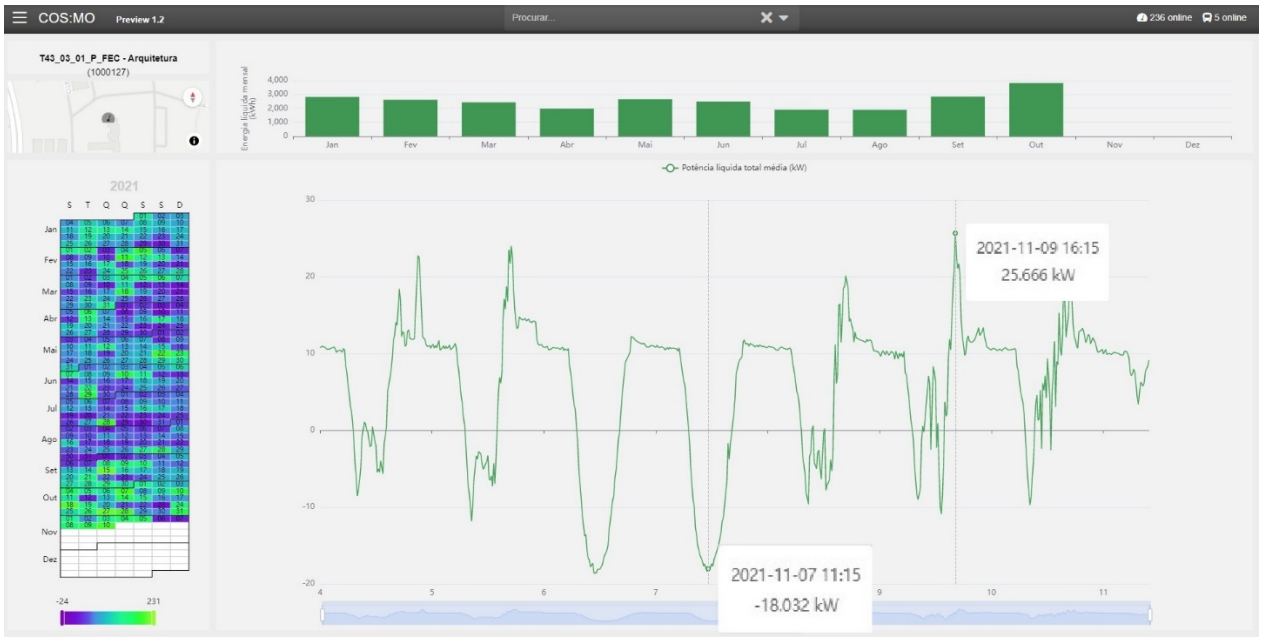
O superdimensionamento ocorria na unidade da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (FEEC) onde foi possível diminuir de 2 transformadores (500kv e 300kv) para apenas 1 transformador (300kv). Foi possível agendar a troca e desligamento do transformado e executar o serviço em menos tempo, com impacto mínimo à unidade. A redução unitária por si só já capta a atenção, mas dispensar o transformador de maior potência (500kv) é a informação mais significativa. Neste caso em específico foi realizado uma simulação de carga, onde todos os elementos ligados a rede elétrica da unidade foram acionados. Desta forma, com a medição inteligente foi possível acompanhar a curva de consumo crescente da unidade ao longo do acionamento e percebeu-se que a demanda da unidade seria atendida com apenas o transformador de 300kv. Caso não existisse o monitoramento inteligente a identificação se daria por medição pontual com simulação de carga em um período de 7 dias, havendo necessidade de contratação de equipe terceirizada para realizar o serviço e elaboração de relatórios.

Outro caso foi a aquisição de uma máquina de lavar pratos industrial que, com a demanda de energia da máquina, a capacidade de um dos transformadores do Restaurante Universitário seria extrapolada. A processo de aquisição da máquina de lavar pratos foi feita sem consulta prévia ao departamento responsável pelo monitoramento dos transformadores do campus. Sendo assim o departamento foi acionado para avaliação somente no momento da entrega da máquina de lavar pratos. Auxiliado pela plataforma Neras, o departamento identificou que o transformador ao qual a máquina seria ligado já estava próximo da capacidade máxima de trabalho e pode realizar a adequação necessária.

Em substituição ao Neras uma plataforma online está em desenvolvimento, a plataforma COS:MO. O foco do COS:MO é nas informações coletadas pelos medidores inteligentes e em uma melhor apresentação dos dados.

A tela do COS:MO a seguir (Fig. 6) traz informações de um dos medidores da Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo (FECFAU). No canto superior esquerdo existe um minimapa com a localização do medidor. Ainda na parte superior consta o consumo de cada mês do ano vigente. Na lateral esquerda consta um calendário indicando a qualidade do consumo de energia em cada dia do ano, onde os extremos da legenda significam um consumo abaixo ou acima para a potência daquele transformador, não sendo necessariamente uma informação a se preocupar-se com. E, por último, um gráfico indicando o consumo (acima do eixo horizontal) versus a geração fotovoltaica (abaixo do eixo horizontal) ao longo dos dias e no momento da coleta.

Figura 6: Tela COS:MO



A Fig. 7 traz informações da alta geração fotovoltaica do Ginásio Multidisciplinar (responsável por 63% da geração do campus) e o baixo consumo da edificação, quando proporcionalmente comparado à geração.

Figura 7: Tela COS:MO Ginásio

O Unicamp está enquadrado junto ao setor elétrico como Consumidor Livre, portanto conforme a regulamentação da ANEEL, o custo da energia para o campus Barão Geraldo é composto por dois contratos, o de Compra de Energia e o de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD).

Atualmente o contrato de Compra de Energia está no ambiente de Mercado Livre de Energia. Estar nesse ambiente significa que a Unicamp é um Consumidor Livre e tem a liberdade para negociar preços, quantidades, fontes de energia (eólica, hidrelétrica, solar,

térmica) e ter previsibilidade de custos. Este contrato tem custo atual de R$ 204,73/MWh. Esse modelo torna a contratação mais adequada as necessidades da Unicamp e resulta em um custo mais preciso.

O custo referente ao Contrato TUSD está diretamente relacionado a encargos e parâmetros elétricos tais como consumo e demanda de energia. A Unicamp compartilha a subestação de Barão Geraldo com a CPFL Paulista, estando caracterizada como Sub Grupo A2 (referência de tensão de fornecimento) com tarifa azul. Atualmente os valores de contrato são de custo médio na ordem de R$ 195,27/MWh.

Assim a composição do custo médio do MWh para o campus Barão Geraldo é de R$ 400,00/MWh.

O somatório da capacidade instalada dos 334 transformadores da Unicamp é estimada em 128 MVA. Levando em conta que o transformador da subestação tem capacidade de 25MVA, pode-se concluir que muitos transformadores da Unicamp operam em vazio, provavelmente atendendo grandes cargas em laboratórios de pesquisa de uso eventual. No entanto, estes transformadores estão permanentemente energizados, assim, consumindo energia para suprir as perdas no ferro. Transformadores de distribuição apresentam perdas entre 1% e 3% da capacidade nominal.

Em uma estimativa conservadora os transformadores da Unicamp apresentam perdas de 1% da potência nominal, perdas de 1,28 MW por hora, totalizando 921,6 MWh por mês. Comparado ao consumo médio mensal de 2020 chega-se ao percentual de 14,4% de energia perdida somente nos transformadores. Levando em conta que ainda existem perdas nos alimentadores primários e secundários e linhas de transmissão, pode-se considerar em 19% de perdas de energia na rede elétrica da Unicamp. A perda real será mais precisa quando não houver lacunas na entrega de dados dos medidores dos transformadores, uma vez que medidores inteligentes foram instalados nos alimentadores de baixa tensão na subestação em setembro de 2021.

Com base na composição do custo médio do MWh essa perda representa um custo de R$ 512.000,00 por mês ou R$ 6.144.000,00 por ano. Este nível de perdas não é inesperado, dado o desconhecimento do consumo das unidades, a falta de medição e de metodologias modernas para a operação, planejamento e manutenção da rede elétrica da Unicamp. As melhores empresas e distribuidoras Brasileiras aplicam o que há de mais moderno em termos de tecnologias e procedimentos para estimativa e minimização das perdas, apresentando ainda patamares em torno de 5%.

Tendo em mão todas essas informações o Centro de Controle e Operações (CO) abrirá luzes sobre o consumo de energia do Campus, quantificando perdas em cada trecho de rede, conhecendo índices e curvas de carregamento de cada transformador, apontando unidades acadêmicas e/ou administrativas que mais contribuem para o baixo desempenho da rede elétrica do Campus. Desta forma a administração da Universidade terá meios para intervir através das ações necessárias e eficientes para mudar esse cenário, ao mesmo tempo em que poderá monitorar em tempo real os resultados quantitativos das ações através das informações disponíveis no CO.

Para o Centro de Controle e os 334 medidores inteligentes foram aplicados recursos na ordem de R$ 3,12 milhões.

3.2. Produção Fotovoltaica

Os dados medidos nos 23 inversores fotovoltaicos fazem comunicação com a rede wifi IoT da Unicamp e chegam ao centro de operações. O centro de operações obtém os dados da produção de energia em MWh, a potência em KW e a economia de CO2 em toneladas.

Para a economia de CO2 em toneladas é feita uma analogia em quantidade de árvores salvas. A medição destes dados teve início em agosto de 2019.

Atualmente, oito unidades da universidade possuem geração fotovoltaica com medidores inteligentes. As unidades juntas representam uma potência máxima de planta de 534,72 kWp. O total de energia produzida de agosto de 2019 a dezembro de 2021 (29 meses de projeto) foi de 1966,9 MWh e com um total de economia de CO2 de 1063 toneladas, o que equivale à 27.260 árvores salvas.

A Tab. 1 apresenta a produção de cada unidade da universidade a partir de agosto de 2019, 2020 e 2021. Apresenta também a economia de CO2 gerada por cada unidade. No ano de 2019 o projeto estava 100% operacional nas unidades apenas após o mês de setembro.

Tabela 1: Produtividade do Campus Sustentável

Unidades	Produção MWh				ECONOMIA CO2	
Geradoras	2019	2020	2021	Total	Tonelada	Árvores
FEEC1	35,7	74,2	73,6	183,5	99,18	2543
FEEC2	25,7	50,2	45,0	120,8	65,31	1674
FECFAU	26,0	49,8	55,4	131,2	70,94	1819
EXTECAMP	15,4	30,9	30,9	77,2	41,75	1070
CEPETRO	18,5	49,6	47,0	115,1	62,22	1595
NIPE	2,7	10,0	8,1	20,8	11,25	289
MUSEU	2,6	5,4	6,4	14,3	7,72	198
GINÁSIO	336,2	496,7	471,0	1303,9	704,82	18072
TOTAL	462,8	766,8	737,3	1966,9	1063	27260

3.3. Energia Fotovoltaica

Do início do projeto em agosto 2019 até dezembro de 2021, as placas fotovoltaicas tiveram uma produção total de 1966,9 MWh. Utilizando a produção fotovoltaica multiplicada pela composição do custo médio contratado (R$ 400,00) resultou em uma economia total em energia elétrica de R$ 787 mil em 29 meses. Analisando um período fechado de 12 meses (janeiro a dezembro) a produção anual de 2020 foi de 767 MWh, o que representou economia de R$ 307 mil.

Conforme mencionado anteriormente a instalação de plantas fotovoltaicas tiveram um investimento de R$ 3,3 milhões. Considerando-se o custo médio fixo do MWh em R$ 400,00 e a produção de energia fotovoltaica fixa em 767 MWh (referência ano 2020) resulta em um Retorno sobre o Investimento (ROI) de -91%. Neste caso o ROI negativo significa que a produção anual equivale a 9% do recurso aplicado e que em 10 anos (11 anos total do projeto) as plantas fotovoltaicas irão gerar recurso superior ao valor investido na sua implantação.

Além de todo o campus aproveitar a energia limpa do sol, um ônibus elétrico (Fig. 8) circula pelas ruas com essa energia renovável. Com início de circulação em setembro de 2020 o veículo recarrega sua bateria de 324 KWh em um eletroposto (Fig. 9) dentro da própria universidade. Também dotado de monitoramento em tempo real de grandezas físicas associadas ao funcionamento, uso diário e percurso do ônibus elétrico. Informações essas úteis para a gestão de O&M do veículo bem como do seu desempenho em diferentes condições de lotação, percurso, clima e ações do condutor.

Figura 8: Ônibus Elétrico

Figura 9: Eletroposto

O ônibus elétrico despende da necessidade de deslocamento até um ponto de abastecimento fora do campus como o modelo convencional também em circulação, além da possibilidade de abastecimento durante a noite de um dia para o outro.

Comparando custos e consumo entre o modelo elétrico e a diesel temos (Tab. 2):

Tabela 2 - Comparativo modelo elétrico x diesel

	Ônibus Elétrico	Ônibus Diesel
Capacidade	324 KWh	300 litros
KMs por tanque	~ 590 km	~ 930 km
Rendimento	1,82 km / KWh	3,1 km / litro
R$ 100% abastecido	R$ 130,00	~ R$ 2.070,00

O custo do litro de diesel considerado foi de R$ 6,90.

Para o ônibus elétrico percorrer 930 km ele gastaria o equivalente a R$ 205,00 caso abastecesse no eletroposto (Fig. 9) da universidade. Comparando esse valor com o custo para os mesmos 930 km movidos à diesel, o elétrico é 10 vezes mais econômico. Usando o recurso de R$ 2.070,00 seria possível percorrer 9.400 kms com o ônibus elétrico.

4. DISCUSSÃO

O estudo de caso comprovou que a gestão de facilidades com auxílio de tecnologias como IoT trazem benefícios e praticidade no monitoramento da qualidade, consumo e geração de energia. Dados que antes eram desconhecidos ou não registrados passam a ser de fácil acesso aos gestores de facilidades, auxiliando em tomada de decisões para manutenção, melhoria e expansão da matriz energética do campus universitário (PAIVA; KANAI; FONTANINI; 2020).

Além do sistema de gestão integrada, o Campus Sustentável conta com geração de energia fotovoltaica que reduz gastos com energia e torna o ambiente mais sustentável, favorecendo os setores de energia elétrica, melhorando a eficiência das edificações e o transporte público da universidade.

A rede elétrica da Unicamp pode ser considerada uma Smart Grid uma vez que há infraestrutura de medição avançada, fonte de energia renovável, eletroposto e ações em eficiência energética, todos conectados e monitorados em tempo real.

Os medidores de energia auxiliam o gestor de facilidades a verificar, de forma precisa, se a energia elétrica entregue está de acordo com a energia contratada. Com isso o FM acompanha em tempo real o consumo de energia e pode tomar ação para negociar contratos vigentes, visando um aumento ou redução de MWh contratado.

Essa medição auxiliará a gestão de energia, como por exemplo a identificação instantânea da interrupção de energia em uma determinada área no campus sem a necessidade

de locomoção de um técnico de campo para averiguar quais pontos estão sem energia ou que haja o contato de alguma unidade ou usuário relatando a falta.

A gestão das informações coletadas pelos medidores possibilita a detecção e diagnóstico de falhas, resultando em intervenções oportunas e direcionadas em casos de equipamentos com defeito ou com baixo desempenho. A análise dos dados coletados e visualização de energia permite um rastreamento e otimização do consumo de energia e desempenho do edifício ao longo do tempo. Além de possibilitar um acompanhamento mais atento por parte do FM de cada unidade, os medidores trazem informações antes desconhecidas pelas unidades, auxiliando o FM em suas atividades.

O número de transformadores e a potência instalada em uma determinada unidade se justificam por diversas razões: parque tecnológico de alto padrão, equipamentos em cada edificação, maquinário utilizado nos laboratórios, aquisição antecipada de transformador aliada com eventual descontinuidade de projetos e entre outros motivos. De qual quer maneira a considerável quantidade de transformadores e, principalmente, a potência instalada exigirá do FM da unidade um acompanhamento atento, uma vez que pode impactar a atividade fim (ensino e pesquisa) e auxiliará na tomada de ações futuras com as informações disponíveis como manutenção preditiva, avaliação de vida útil e adequação da potência instalada.

As intervenções pontuais in loco em transformadores podem ser reduzidas a menor possível, uma vez que não se é mais necessário estar presencialmente coletando grandezas físicas pois os medidores já o fazem de maneira mais eficiente, prática e assertiva.

A verificação se o nível de tensão está adequado ou inadequado era antes feita sob demanda, utilizando-se de um analisador de energia que media o carregamento do transformador por um período de uma semana através de simulação de carga. Com a medição e o monitoramento em tempo real é possível realizar uma simulação ligando todos os equipamentos simultaneamente para saber a demanda máxima que aquela unidade pode ter. Resultando em uma tomada de decisão que visa reduzir ou aumentar a potência instalada.

O consumo de energia elétrica sem o devido monitoramento e responsabilização financeira representa o maior incentivo para a ineficiência e uso irracional da eletricidade. Portanto, para cumprir suas metas na direção do desenvolvimento de um Campus Sustentável foi prioritária a construção de um centro de dados de medição do consumo.

Qualquer ação de eficiência energética depende de uma base de informações sobre a operação da rede e consumo de energia. O CO fornece informação em tempo real, continuada e permanentemente, tendo, assim, grande importância para todas as iniciativas a serem implantadas na universidade em eficiência energética e conservação de energia. Além disso, o CO é parte do laboratório vivo, com foco no desenvolvimento de pesquisas no tema de centros de operação de redes elétricas inteligentes.

Em tempos antes da pandemia a Unicamp tinha um consumo comparado com uma cidade de 100 mil habitantes. A geração fotovoltaica trouxe um alívio para a subestação de Barão Geraldo, a qual operava próxima ao seu limite de compartilhamento. Caso houvesse um aumento no consumo e não existisse essa fonte secundária de energia, seria necessária a construção de uma subestação própria para atender a demanda do campus. O projeto e custos de construção, operação e manutenção dessa subestação seriam de responsabilidade da Unicamp.

Embora em valores relativos os resultados econômicos da implantação de minigeração sejam pequenos, em comparação com a magnitude do campus, os sistemas fotovoltaicos proporcionaram uma economia de R$ 307 mil no ano de 2020. Levando em conta que a universidade atualmente sofre com escassez de recursos e as incertezas que 2021 traria e que 2022 trará, o montante é significativo e bem-vindo.

Ao se levar em conta a expectativa de vida esperada de 25 anos para os sistemas fotovoltaicos, o projeto irá proporcionar à Unicamp, em valores atuais, uma economia total de cerca de R$ 7,7 milhões, sem considerar os prováveis aumentos das tarifas de energia elétrica que podem ocorrer no período considerado. Com um ROI de 11 anos para o sistema fotovoltaico a universidade deve investir na instalação em outras localidades e retrofit nas edificações antigas, iniciando um processo contínuo de implantação de minigeração no campus.

A Proposta de Distribuição Orçamentária da Unicamp destinou R$ 372 mil ao Projeto Campus Sustentável no ano de 2021. Em apenas 1 subprojeto no ano 2020, o Campus Sustentável economizou R$ 307 mil. Pode-se dizer que a universidade reinveste no projeto o montante que o mesmo economiza. Além de sustentável o projeto também é rentável.

O GreenMetric World University Ranking classificou a Unicamp como a 3ª Universidade mais sustentável do Brasil em 2020. No ranking mundial ficou 100º posição, dentre 912 Universidades. A classificação é feita a partir de indicadores de sustentabilidade, em seis categorias: paisagem e infraestrutura; energia e mudança climática; resíduos; água; transporte; ensino e pesquisa. Tais indicadores serão cada vez mais impactados pelas ações do Projeto Campus Sustentável, influenciando positivamente na posição global no ranking.

No dia 13 de abril de 2021 a Unicamp e a Organização Latino-Americana de Energia (OLADE), órgão intergovernamental, firmaram um acordo de ampla cooperação tecnológica e educacional visando o desenvolvimento em áreas vinculadas ao desenvolvimento energético e gestão de energia, no âmbito do projeto Campus Sustentável. A cooperação facilita a participação em editais nacionais e internacionais para a captação de recursos financeiros que serão aplicados na atividade fim da instituição, o ensino e pesquisa.

5. CONCLUSÃO

O estudo de caso corrobora com o estado da arte que busca na FM uma integração estratégica entre a atividade fim da universidade (ensino e pesquisa), as edificações do campus, as diversas atividades realizadas pelos seus usuários e uma gestão da energia em tempo real e eficiente (PAIVA; KANAI; FONTANINI; 2020).

Atualmente a medição de energia da Unicamp é realizada somente na interface com a rede de distribuição da concessionária de energia, sendo consumida nas diversas edificações do campus, onde não havia qual quer tipo de medição ou monitoramento. A não rastreabilidade de quem consome e do quanto consome resulta em ineficiência e em um uso inadequado do recurso. Com medição pontual, cada unidade será responsável pelo recurso que consumir e por ações que visem reduzir o consumo do mesmo.

Retomando o caso de redução do número de transformadores na FEEC e da adequação do transformador do Restaurante Universitário a nova demanda, pode-se induzir que se faz necessidade em estabelecer uma nova periodicidade de reavaliação da demanda energética dos edifícios com apoio das novas ferramentas disponíveis. Auxiliando melhores práticas na gestão de facilidades.

O projeto como um todo traz benefícios tanto para a comunidade da Unicamp quanto para a concessionária de energia. Para a Unicamp os benefícios são redução das despesas com energia, aumento da eficiência energética, acesso a tecnologias modernas, um laboratório vivo para estudo e aprendizado sobre as tecnologias, treinamento e capacitação a respeito da temática. Para a concessionária traz um alívio para a subestação e possíveis intervenções que não serão mais necessárias.

Projetos para Instituições de Ensino Superior (IES) como este, de eficiência energética e sustentabilidade, indicam uma mudança de cultura em como essas IES optam por tratar suas edificações e instalações como criadoras de valor em vez de centros de custo.

Esse papel integrador, ou mesmo de facilitador, baseia-se em três abordagens principais da FM que são integrar, alinhar e inovar. Integrar locais, pessoas, processos e tecnologias para um gerenciamento de ciclo de vida eficaz e eficiente dos edifícios e seus componentes. Alinhar o portfólio de serviços de FM com a estratégia, a missão da organização e com os recursos disponíveis. Inovar a fim de ser capaz de abordar os requisitos de mudança ao longo do tempo e aproveitar novas oportunidades.

Por fim uma das motivações para a realização deste trabalho está relacionada à carência da academia na temática de gerenciamento de facilidades com foco na gestão de energia e da disponibilidade de um estudo de caso de sucesso.

Mesmo a graduação de profissionais de FM sendo diversa, a FM não é explorada à nível de graduação nas universidades brasileiras. Este trabalho contribuirá para a formação destes profissionais, trazendo à luz novas tecnologias, do potencial de monitoramento com a Internet das Coisas e a diversidade de "coisas" possíveis de serem monitoradas. Esta formação apoiará uma gestão mais eficiente, racional e alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

6. REFERÊNCIAS

ABNT NBR 15575-1. Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. 2021.

CAMPUS SUSTENTÁVEL. http://www.campus-sustentavel.unicamp.br/. 2020.

CHAMADA 001-2016, ANEEL. http://energif.mec.gov.br/images/pdf/editais/edital-0012016.pdf . 2016

EHRENBERG, M. *The Future of Facilities is Digital*. 2017. Disponível em: < https://facilityexecutive.com/2017/12/the-future-of-facilities-is-digital>. Acesso em: 20 maio 2019.

FLICK, U. Introdução à pesquisa qualitativa. 3ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2009

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa, 5 ed. São Paulo: Atlas, pg. 184, 2010.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. Fundamentos de metodologia científica. 7ª ed. São Paulo: Atlas, 2010

MERRIAM, S. B. *Case study research in education*. San Francisco, CA: Jossey-Bass, 1988.

PAIVA, R. N.; KANAI, J.; FONTANINI, P. S. P. Um Estudo de Gestão de Facilidades em um Campus Sustentável baseado em Internet das Coisas e Inteligência Ambiental. In: VIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2020, Porto Alegre. Anais do XVIII Encontro Nacional do Ambiente Construído (ENTAC 2020), 2020

YIN, R. K. Estudo de caso – Planejamento e Métodos. 3° Ed. Porto Alegre: Bookman, pg. 212, 2005.