



EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SMART BUILDINGS: UM ESTUDO DE CASO ACERCA DA OTIMIZAÇÃO DA OPERAÇÃO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DE UM EDIFÍCIO COMERCIAL

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2025.6388

Autores: RÔMULO PRATTI RAMOS, LAIS ALVES, GISELE MARIA RIBEIRO VIEIRA

Resumo: Este artigo apresenta um estudo de caso sobre ações de melhoria operacional no sistema de refrigeração de um edifício comercial em Recife-PE, avaliando seus impactos na eficiência energética. Inserido na Agenda 2030 da ONU e nas diretrizes ESG, o estudo destaca a importância de estratégias sustentáveis na operação predial, com foco em sistemas de climatização central. O prédio possui automação na CAG, CAC, fancoils e VAVs. A metodologia combina análise documental e de séries temporais, com dados de consumo de dezembro/2021 a abril/2025. A análise foca nos efeitos das melhorias implementadas desde agosto/2022. Os resultados apontam o período de abril a outubro/2024, com condições específicas de operação da CAG, como o de maior eficiência, com redução de consumo mesmo com aumento da carga térmica. Além disso, o estudo se coloca como uma oportunidade de aplicação da metodologia Problem-Based Learning (PBL) para o estudo de engenharia.

Palavras-chave: Eficiência energética, Smart Buildings, Refrigeração, Automação Predial, Problem-based Learning

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM *SMART BUILDINGS*: UM ESTUDO DE CASO ACERCA DA OTIMIZAÇÃO DA OPERAÇÃO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DE UM EDIFÍCIO COMERCIAL

1. INTRODUÇÃO

1.1 Eficiência energética e operacional

A Agenda 2030 é um compromisso global assumido por todos os países-membros da Organização das Nações Unidas (ONU) buscando um desenvolvimento sustentável. Nesse programa estão descritos os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que são linhas de ação que apresentam horizontes almejados por todo o globo.

A Comissão Nacional para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (CNODS) apresenta que é um grande desafio, considerando a extensão e diferentes realidades do território brasileiro. A fim de adaptar e reinterpretar os objetivos globais às realidades locais, foi desenvolvido o processo de “Territorialização dos ODS”, cuja missão é, em parceria com a sociedade civil organizada, o setor privado e os governos subnacionais, trilhar o caminho para alcance dos 17 ODS (CNODS, 2024).

Alinhado a esse caminho apresentado pela “Territorialização dos ODS”, promove-se que cada indivíduo da sociedade apoie no processo de implementação de ações buscando a promoção da Agenda 2030. Para tal, um grande campo de ação é relacionado à operação predial. Ribeiro et al. (2025) apresentam dados da *International Energy Agency* (IEA) que indicam que 30% da energia consumida globalmente e 26% das emissões de CO₂ se dão por meio das atividades desse setor.

Pushkar (2025), citando Hodapp (2020) e Cidell (2009), apresenta a certificação *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), desenvolvida pela *United States Green Building Council* (USGBC) em 2002, a fim de estimular o interesse em operações prediais mais sustentáveis. Essa certificação avalia a eficiência energética, a otimização da utilização de recursos materiais e hídricos, a qualidade do ar ambiente e a sustentabilidade das operações. Estando hoje em sua 5ª versão, essa ferramenta apresenta uma importante iniciativa visando um consumo sustentável das operações prediais, alinhado à Agenda 2030 da ONU, conforme apresenta o USGBC (2022).

Outras importantes iniciativas que apoiam o avanço da Agenda 2030 são o desenvolvimento e atenção às políticas de *Environmental Social and Governance* (ESG) nas empresas privadas. Esse conjunto de pilares permitem um desenvolvimento sustentável ponta-a-ponta, iniciando em uma dessas, com os governos aliados à ONU e concluindo na outra, na cultura de trabalho das empresas. É nesse cenário que se fazem necessárias iniciativas de sustentabilidade e eficiência operacional.

1.2 Ajustes operacionais em um sistema de refrigeração

O contexto apresentado motiva o desenvolvimento de análise e discussão acerca de iniciativas desenvolvidas por uma empresa do mercado privado. Este trabalho apresenta um estudo de caso acerca das ações tomadas por uma grande empresa privada do setor de tecnologia, localizada no Recife-PE.

A empresa é localizada em um prédio próprio e conta com diversas soluções eletrônicas em suas operações, dentre essas, automação de seus sistemas de refrigeração com monitoramento remoto.

A partir de agosto de 2022, a empresa passou a adotar novos procedimentos de operação da refrigeração e passou a priorizar a análise de condição de operação dos equipamentos dessa disciplina e avaliar a possibilidade de implementação de melhorias.

Para esse trabalho serão analisadas as ações desenvolvidas pela empresa visando a otimização operacional e os resultados energéticos dessa entre janeiro de 2022 e abril de 2025, a fim de comparar as ações realizadas com os impactos financeiros e de consumo observados.

1.3 Estudo de Tecnologias Aplicadas à Engenharia

A análise de tecnologias utilizadas em edificações inteligentes oferece um campo fértil para o desenvolvimento de competências em engenharia. Este estudo de caso permite explorar soluções técnicas em automação, climatização e eficiência energética.

Além de sua contribuição técnica, o estudo pode ser utilizado como ferramenta de ensino, alinhada à metodologias como o *Problem-Based Learning* (PBL). Por meio da investigação de dados reais, da compreensão de sistemas complexos e da avaliação de resultados operacionais, futuros engenheiros são desafiados a propor soluções sustentáveis, desenvolvendo pensamento crítico, tomada de decisão e integração multidisciplinar — habilidades fundamentais para a atuação profissional no contexto da Agenda 2030 e das práticas ESG.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Sistemas de climatização em *smart buildings*

Os sistemas de climatização central, especialmente em edifícios inteligentes (*smart buildings*), desempenham papel crucial na eficiência energética e no conforto térmico dos ocupantes. Esses empreendimentos utilizam sensores, atuadores e lógicas de controle para ajustar em tempo real a operação dos equipamentos de ar-condicionado, conforme variáveis como temperaturas no ambiente, taxa de ocupação e horários de funcionamento.

Singh et al. (2021) apresentam que a Central de Água Gelada (CAG) é o núcleo de produção de frio do sistema. Ela é composta, em geral, por *chillers*, bombas de água gelada e sensores. O *chiller* é um equipamento que realiza o resfriamento de água, gerando temperaturas entre 5,5°C e 8,0°C – de acordo com seu *setpoint* (objetivo) – que é distribuída por uma rede hidráulica a todo o empreendimento.

Os autores apresentam ainda que a CAG, muitas vezes, opera em conjunto com a Central de Água Condensada (CAC). Essa, por sua vez, é formada normalmente por torres de arrefecimento, bombas de água condensada e sensores, sendo responsável por resfriar os *chillers*, a fim de que esses possam resfriar a água que segue até os *fancoils*.

Fancoils, por sua vez, são equipamentos formados por um ventilador e um trocador de calor (serpentina), que controla a temperatura do ar insuflado a partir da passagem da água gelada, conforme mostram Li et al. (2020). Esses equipamentos são responsáveis por insuflar o ar climatizado nos ambientes.

Os autores apresentam ainda que, em ambientes com controle de zonas, os *fancoils* podem ser associados a VAVs (Volume de Ar Variável), que ajustam dinamicamente o volume de ar conforme a carga térmica do ambiente, garantindo maior eficiência energética e conforto.

Esses equipamentos – os que compõe as CAG e CAC, *fancoils* e VAVs – são altamente adaptáveis a controles por automação. Estudos como o de Zhou et al. (2023) mostram que a aplicação de controle preditivo baseado em dados históricos e ocupação reduz em até 18% o consumo energético do sistema de climatização em edifícios comerciais. Já Nguyen et al. (2022) demonstram que intervenções localizadas, como ajuste de *setpoints* e controle por zonas, são eficazes quando aliadas a um plano de manutenção contínua e monitoramento remoto.

2.2 Problem-based Learning (PBL)

O *Problem-Based Learning* (PBL) é uma metodologia ativa de aprendizagem centrada no aluno, que propõe a resolução de problemas complexos e autênticos como ponto de partida para o desenvolvimento de conhecimento e habilidades. Conforme Barrows e Tamblyn (1980), o PBL estimula o pensamento crítico, a capacidade de pesquisa, o trabalho colaborativo e a aplicação prática de saberes interdisciplinares — elementos essenciais à formação em engenharia.

Santos (1994) apresenta que a fonte básica do PBL é a exposição de situações e problemas reais, semelhantes aos quais os estudantes encontrarão em suas carreiras e o objetivo é encorajá-los ao desenvolvimento pessoal e acumular conhecimento para, quando encontrados os problemas, serem capazes de resolvê-los. Nesse contexto, a análise de estudos de caso mostra-se parte importante do processo de educação em engenharia.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho é um estudo de caso de natureza híbrida, realizando análises quantitativas e qualitativas. São utilizadas como entrada de dados as informações coletadas por meio de entrevista junto a um dos gestores prediais da empresa, responsável pela operação do sistema de refrigeração monitorado em sistema de automação. O gestor foi responsável por enviar toda a documentação técnica acerca das ações de melhoria implementadas e os dados de energia. Foram coletados os dados conforme indicados nos quadros 01 e 02.

Quadro 01 – Dados de melhorias coletados

Melhoria implementada
Data
Descrição da melhoria

Fonte: Empresa

Quadro 02 – Dados de energia coletados

Energia
Mês da medição
Demanda
Demanda contratada da concessionária
% da demanda contratada utilizada
Consumo no mês
Reativo excedente
Valor da fatura no mês

Fonte: Empresa

3.1 Análise documental

A partir dos dados enviados foi realizada uma análise documental acerca das melhorias implementadas. As melhorias foram segmentadas por data de execução, tipo de melhoria e tipo de equipamento. Os tipos de melhoria e tipos de equipamentos considerados estão descritos nos quadros 03 e 04.

Quadro 03 – Tipos de melhoria implementados

Melhoria implementada
Ajuste de setpoint ambiente
Ajuste de range de insuflamento
Ajuste do modo de operação
Redução de setpoint de pressão de insuflamento
Ajuste de mínimos e máximos de vazão
Ajuste de delays e alarmes
Manutenção na CAG
Manutenção na CAC

Fonte: Empresa

Quadro 04 – Tipos de equipamento

Tipos de equipamento
VAV
Fancoil
CAG
CAC

Fonte: Empresa

Nesse estudo foram agrupados todos os equipamentos que compõe a CAG em um só grupo, devido ao fato de que esse sistema gera resultados como um conjunto homogêneo. A mesma lógica foi seguida para a separação dos tipos de melhorias aplicados à CAG.

Para a análise, foram ainda atribuídos, para cada tipo de melhoria em cada equipamento, impactos energéticos e impactos de conforto para os clientes, de acordo com o quadro 05.

Quadro 05 – Dados de melhorias coletados

Melhoria	Tipo de equipamento	Impacto energético	Impacto de conforto
Ajuste de setpoint ambiente	Fancoil	Baixo	Médio
Ajuste de setpoint ambiente	VAV	Baixo	Médio
Ajuste de range de insuflamento	Fancoil	Médio	Alto
Ajuste do modo de operação	Fancoil	Alto	Baixo
Redução de setpoint de pressão de insuflamento	Fancoil	Baixo	Médio
Ajuste de mínimos e máximos de vazão	VAV	Baixo	Alto
Ajuste de delays e alarmes	Todos	Nenhum	Baixo
Manutenção na CAG	CAG	Alto	Baixo
Manutenção na CAC	CAC	Alto	Baixo

Fonte: Empresa

3.2 Análise de séries temporais

A fim de ser avaliado o impacto das ações de melhorias implementadas no sistema de refrigeração, foi realizada uma análise temporal do consumo energético no edifício. Para tal, foi realizada segmentação dos períodos de acordo com marcos temporais de ações de melhoria relevantes e realizadas análises comparativas entre os diversos períodos, com início das atividades em agosto de 2022.

Os dados considerados nesse trabalho foram os disponibilizados pela empresa, contemplando entre dezembro de 2021 e abril de 2025.

Outros dois marcos temporais relevantes apresentados pelo gestor e considerado no trabalho são o impacto da pandemia do COVID-19 nas operações do edifício e o

aumento de carga elétrica consumida a partir de instalações de novos equipamentos de Tecnologia da Informação (TI).

Acerca do impacto da pandemia na operação do edifício, essa é considerada até junho de 2023. Até esse marco, a operação do edifício estava reduzida devido ao regime de presença opcional dos colaboradores. Após julho de 2023, foi adotado o regime híbrido aos colaboradores, com presença mínima de 2 dias na semana.

É ainda considerada a instalação de novos equipamentos de TI durante o ano de 2024 e, principalmente, em março de 2025. Esses equipamentos elevaram a carga elétrica consumida pelo edifício.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tendo sido obtidos os dados de melhorias realizadas e consumo energético do edifício, foi realizada análise das ações desenvolvidas a fim de identificar os possíveis marcos de condição operacional relevantes e, em seguida, analisados esses em conjunto com os dados de energia. A tabela 01 mostra a quantidade de melhorias implementadas por tipo de equipamento.

Tabela 01 – Quantidade de melhorias implementadas por tipo de equipamento.

Tipo de equipamento	Tipo de melhoria	Quantidade
Fancoil	Ajuste de setpoint ambiente	12
VAV	Ajuste de setpoint ambiente	4
Fancoil	Ajuste de range de insuflamento	13
Fancoil	Ajuste do modo de operação	16
Fancoil	Redução de setpoint de pressão de insuflamento	1
VAV	Ajuste de mínimos e máximos de vazão	15
Todos	Ajuste de delays e alarmes	+30
CAG	Manutenção na CAG	16
CAC	Manutenção na CAC	12

Fonte: Empresa

Alguns marcos de melhorias de grande impacto energético foram informados pelo gestor. São esses:

- Em agosto de 2022 foram adotados novos procedimentos de operação da refrigeração do edifício;

- Entre agosto de 2022 e março de 2023 foram desenvolvidas melhorias exclusivamente em *fancoils* e VAVs;

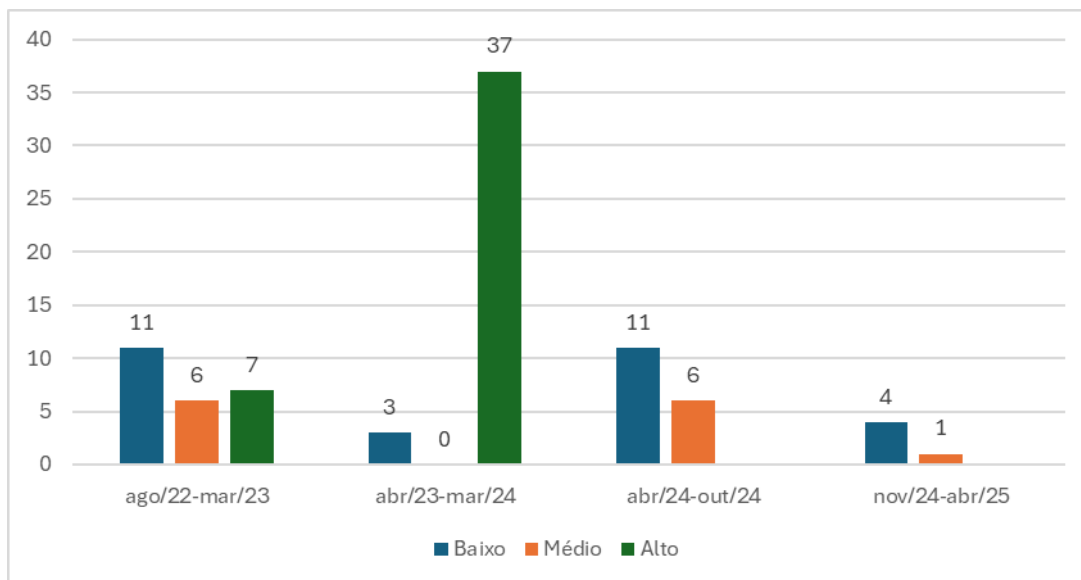
- Entre abril de 2023 e março de 2024, foram desenvolvidas grandes melhorias operacionais na CAG e na CAC. Como destaque: manutenções corretivas em bombas e válvulas, ajuste de velocidade de bombas, substituição de sensores e ajustes na lógica de programação da automação, diminuindo a requisição da operação de chillers.

- Entre abril de 2024 e outubro de 2024 a CAG operou via comando do operador da central de operações, sem utilização da lógica da automação. Esse período foi dedicado ao entendimento de como deveria se dar a melhor forma de operação da CAG, a fim de ser realizado novo desenvolvimento de lógica e recomissionamento do sistema;

- Entre novembro de 2024 e abril de 2025, por solicitação da gerência da empresa, a CAG tornou a operar com a lógica atualmente configurada, voltando as condições de operação de março de 2024. Essa operação incorre em menor eficiência energética devido a mais acionamentos dos chillers.

Foram analisadas as séries temporais considerando os marcos apresentados pelo gestor. O somatório de cada tipo de melhoria desenvolvida, de acordo com impacto energético causado por essas, é apontado na figura 01.

Figura 01 – Impacto energético por melhoria em séries temporais.



Fonte: Elaborado pelo autor

Pode-se inferir, a partir das informações apresentadas pelo gestor e pelas melhorias desenvolvidas ao longo do tempo, que a partir de abril de 2024 foram observadas as melhores condições operacionais do edifício, ao passo que estava sendo realizado processo de entendimento do melhor modo de operação da CAG.

Deve-se avaliar se essas melhorias operacionais desenvolvidas se converteram em redução do conjunto energético do edifício. A tabela 02 apresenta os dados de consumo energético do edifício, fornecidos pela empresa.

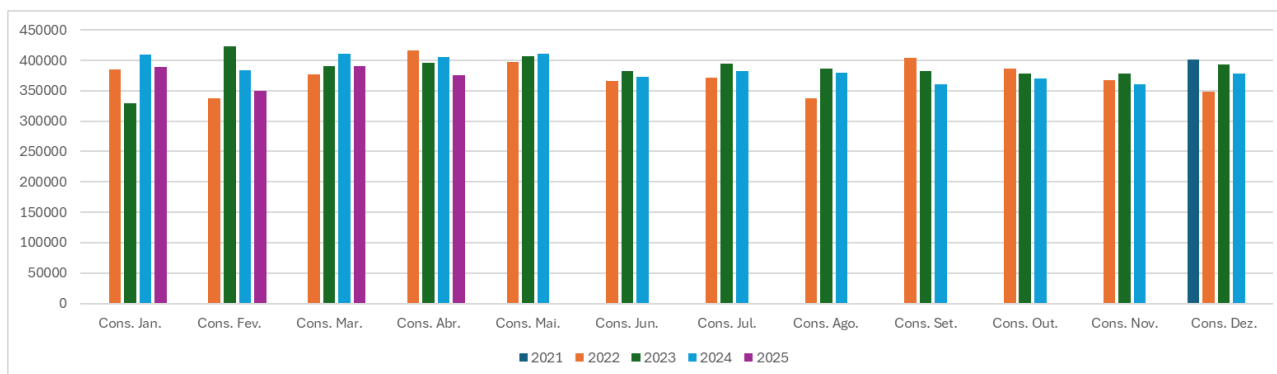
Tabela 02 – Dados energéticos.

Mês	Demanda	Dem. Cont.	%Contrato	Consumo (kWh)	Reativo Excedente (kWh)	Valor da fatura (R\$)
dez/21	708,1 kW	750 kW	93,2%	401.728,3 kWh	66,10 kWh	R\$ 114.444,58
jan/22	677,9 kW	750 kW	89,2%	385.784,3 kWh	235,50 kWh	R\$ 112.934,44
fev/22	690,5 kW	750 kW	90,9%	337.758,1 kWh	14,10 kWh	R\$ 108.091,36
mar/22	701,9 kW	750 kW	92,4%	377.386,1 kWh	17,00 kWh	R\$ 112.615,88
abr/22	713,2 kW	750 kW	93,8%	417.014,0 kWh	19,90 kWh	R\$ 117.140,40
mai/22	705,6 kW	750 kW	92,8%	397.548,9 kWh	4,21 kWh	R\$ 132.664,80
jun/22	647,6 kW	750 kW	85,2%	366.340,6 kWh	0,00 kWh	R\$ 128.674,76
jul/22	637,6 kW	750 kW	83,9%	371.318,2 kWh	0,00 kWh	R\$ 125.995,23
ago/22	665,3 kW	750 kW	87,5%	337.094,7 kWh	0,00 kWh	R\$ 119.706,05
set/22	680,4 kW	750 kW	89,5%	404.388,2 kWh	6,78 kWh	R\$ 127.958,11
out/22	693,0 kW	750 kW	91,2%	386.090,2 kWh	10,70 kWh	R\$ 125.713,31
nov/22	698,0 kW	750 kW	91,8%	367.872,8 kWh	0,00 kWh	R\$ 123.478,84
dez/22	690,5 kW	750 kW	90,9%	348.370,8 kWh	0,00 kWh	R\$ 121.088,28
jan/23	682,9 kW	750 kW	89,9%	328.868,8 kWh	0,00 kWh	R\$ 118.697,71
fev/23	677,9 kW	750 kW	89,2%	423.666,8 kWh	0,00 kWh	R\$ 130.318,11
mar/23	675,4 kW	750 kW	88,9%	391.146,2 kWh	9,02 kWh	R\$ 126.335,95
abr/23	718,2 kW	750 kW	94,5%	396.523,9 kWh	9,28 kWh	R\$ 126.995,28
mai/23	723,2 kW	750 kW	95,2%	406.672,6 kWh	25,10 kWh	R\$ 137.116,78
jun/23	688,0 kW	750 kW	90,5%	382.073,6 kWh	11,50 kWh	R\$ 140.138,27
jul/23	675,4 kW	750 kW	88,9%	394.201,1 kWh	0,00 kWh	R\$ 141.797,84
ago/23	637,6 kW	750 kW	83,9%	385.929,8 kWh	0,00 kWh	R\$ 140.662,06
set/23	643,9 kW	750 kW	84,7%	382.173,8 kWh	0,69 kWh	R\$ 140.146,63
out/23	650,2 kW	750 kW	85,5%	378.417,7 kWh	1,37 kWh	R\$ 139.631,20
nov/23	665,3 kW	750 kW	87,5%	378.093,9 kWh	1,96 kWh	R\$ 139.587,03
dez/23	657,7 kW	700 kW	94,0%	393.260,5 kWh	4,39 kWh	R\$ 130.878,12
jan/24	705,6 kW	700 kW	100,8%	409.410,5 kWh	5,87 kWh	R\$ 137.614,12
fev/24	718,2 kW	700 kW	102,6%	383.661,8 kWh	16,80 kWh	R\$ 134.094,02
mar/24	725,8 kW	700 kW	103,7%	410.880,3 kWh	63,80 kWh	R\$ 137.696,08
abr/24	703,1 kW	700 kW	0,0%	406.041,3 kWh	1,20 kWh	R\$ 136.773,97
mai/24	695,5 kW	700 kW	0,0%	411.017,0 kWh	0,00 kWh	R\$ 136.819,30
jun/24	670,3 kW	700 kW	95,8%	373.414,9 kWh	0,00 kWh	R\$ 128.356,98
jul/24	645,1 kW	700 kW	92,2%	382.352,7 kWh	0,00 kWh	R\$ 127.316,29
ago/24	622,4 kW	700 kW	88,9%	380.026,1 kWh	0,00 kWh	R\$ 125.141,17
set/24	617,4 kW	700 kW	88,2%	360.695,2 kWh	0,00 kWh	R\$ 122.074,36
out/24	761,9 kW	700 kW	108,8%	370.668,3 kWh	554,80 kWh	R\$ 133.248,55
nov/24	672,8 kW	700 kW	96,1%	360.847,6 kWh	0,00 kWh	R\$ 127.662,20
dez/24	738,4 kW	700 kW	105,5%	378.636,3 kWh	0,00 kWh	R\$ 137.881,39
jan/25	703,1 kW	700 kW	100,4%	389.711,1 kWh	0,10 kWh	R\$ 133.172,23
fev/25	710,6 kW	700 kW	101,5%	350.291,3 kWh	0,68 kWh	R\$ 128.837,78
mar/25	793,8 kW	700 kW	113,4%	390.600,6 kWh	0,00 kWh	R\$ 150.462,36
abr/25	738,4 kW	700 kW	105,5%	376.019,9 kWh	0,00 kWh	R\$ 137.109,75
dez/21	708,1 kW	750 kW	93,2%	401.728,3 kWh	66,10 kWh	R\$ 114.444,58
jan/22	677,9 kW	750 kW	89,2%	385.784,3 kWh	235,50 kWh	R\$ 112.934,44

Fonte: Empresa

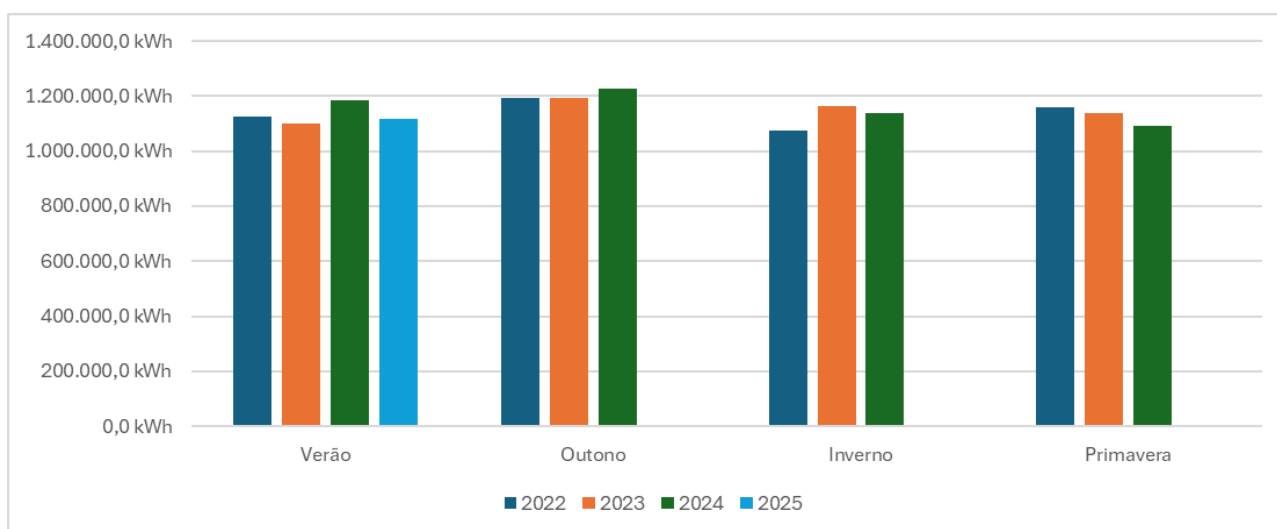
A fim de avaliar se as melhorias se converteram em redução do consumo energético, devem-se organizar as análises de consumo por períodos reincidentes, ao longo dos anos. A figura 02 apresenta essas informações organizadas por mês e a figura 03 o consumo, organizado por estações do ano. As estações foram organizadas como verão (dez-fev), outono (mar-mai), inverno (jun-ago) e primavera (set-out).

Figura 02 – Consumo energético por mês



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 03 – Consumo energético por estação do ano



Fonte: Elaborado pelo autor

A partir da análise do consumo energético ao longo dos períodos é possível realizar algumas inferências.

- Observou-se que, a partir de junho de 2024 em todos os meses foi observada redução do consumo energético, em relação ao mesmo período no ano anterior.

- A avaliação das melhorias implementadas até março de 2023, principalmente em *fancoils* e VAVs, podem ter sido impactadas pela elevação de ocupação do empreendimento. Seriam necessárias outras fontes de dados para essa avaliação, que não foram disponibilizadas pela empresa.

- A instalação de equipamentos pelo time de TI ao longo do ano de 2024 e, principalmente, em março de 2025 – com início de operação de novo equipamento de grande carga – elevaram o consumo de energia ao longo dos períodos, porém, ainda assim, foi possível se observar a redução do consumo a partir de junho de 2024.

- Não foi observada grande variação entre as estações. Isso se dá, possivelmente, devido a pouca amplitude térmica observada em Recife-PE ao longo do ano.

Fica evidenciado, por fim, o impacto positivo das melhorias implementadas pela gestão predial da empresa, gerando uma redução constante do consumo energético do edifício.

5. CONCLUSÃO

O presente estudo de caso permitiu avaliar os impactos energéticos decorrentes de ações de melhoria operacionais realizadas no sistema de refrigeração de um edifício comercial de uma empresa de tecnologia em Recife-PE. A partir da análise de séries temporais e da segmentação das melhorias pelos marcos mais relevantes, foi possível identificar ganhos reais de eficiência energética, especialmente durante o período em que a CAG operou com lógica ajustada manualmente, entre abril e outubro de 2024. Essa condição expôs a necessidade de atenção ao recomissionamento da automação do sistema. Observou-se também que ações nos *fancoils* e VAVs, embora relevantes, apresentaram efeitos limitados frente à influência sistêmica da CAG.

Os resultados reforçam o valor da gestão predial ativa na busca por eficiência energética alinhada aos ODS e às políticas de ESG.

Ao mesmo tempo, ao ser estruturado como material de apoio ao ensino por meio da metodologia PBL, o caso contribui para a formação de engenheiros capazes de lidar com problemas reais, integrando aspectos técnicos, ambientais e gerenciais. O engajamento com dados reais, a análise crítica e a proposição de soluções fundamentadas tornam este estudo um recurso didático valioso para disciplinas da área de Engenharia, especialmente aquelas voltadas a sistemas prediais, eficiência energética e automação.

Assim, esta pesquisa reforça não apenas a importância da atuação técnica no contexto da sustentabilidade, mas também seu potencial como ferramenta pedagógica para o desenvolvimento de competências profissionais contemporâneas.

5.1 Limitação e futuros estudos

As limitações desta pesquisa devem, por fim, ser reconhecidas. A principal limitação deste estudo diz respeito à disponibilidade de dados operacionais complementares, especialmente aqueles relacionados à ocupação do edifício e ao consumo de energia pelos novos equipamentos de TI, instalados entre 2024 e 2025. A ausência dessas informações restringe a capacidade de isolar, com maior precisão, os efeitos diretos das ações implementadas sobre o consumo energético.

Para pesquisas futuras, recomenda-se, além da coleta dos dados que não foram disponibilizados para esse trabalho, a implementação de medidores de energia nos principais equipamentos consumidores, tais como os chillers e equipamentos de TI, a fim de possibilitar uma análise mais detalhada do desempenho energético por componente. Essa medida viabilizaria a identificação de padrões de uso, oportunidades de otimização e a construção de indicadores operacionais mais robustos para apoiar a gestão predial, além de justificar possíveis investimentos em melhorias.

REFERÊNCIAS

BARROWS, H. S; TRAMBLYN, R. M. **Problem-Based Learning: An Approach to Medical Education**. New York: Springer Publishing Company, 1980.

CIDELL, J. A political ecology of the built environment: LEED certification for green buildings. **Local Environ.** v. 14, p. 621–633, 2009.

CNODS. **A Agenda 2030**. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/secretariageral/pt-br/cnods/agenda-2030>. Acesso em: 30 mai. 2025.

HODAPP, R.T. LEED-EB: Leadership in Energy and Environmental Design for Existing Buildings. **Managing Human and Social Systems**. Boca Raton, FL, USA, v. 2, p. 401–411, 2020.

LI, Q; WANG, S.; XU, X. Energy performance evaluation of VAV air-conditioning systems integrated with real-time control. **Energy and Buildings**. v. 210, 2020.

NGUYEN, T; CHEN, Y.; ZHANG, L. Zone-based demand response control for air-conditioning systems in smart buildings. **Applied Energy**. v. 306, 2022.

PUSHKAR, S. Leadership in Energy and Environmental Design for LEED Version 4 (LEED EB v4) Gold Certification Strategies for Existing Buildings in the United States: A Case Study. **Buildings**, Basel, Switzerland, v. 15, n. 7, p. 1080-1095, 2025.

RIBEIRO, L. M. L.; SCOLARO, T. P.; GHISI, E. LEED Certification in Building Energy Efficiency: A Review of Its Performance Efficacy and Global Applicability. **Sustainability**, Basel, Switzerland, v.17, n.5, p. 1876-1892, 2025.

SANTOS, S. R. O Aprendizado Baseado em Problemas (Problem-Based Learning – PBL). **Revista Brasileira de Educação Médica**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 3, p. 97-132, 1994.

SINGH, A; GUPTA, R.; VERMA, S. Chiller plant optimization in smart buildings using supervisory control strategies. **Sustainable Cities and Society**. v. 67, 2021.

USGBC. **Synergies between LEED and SDGs**. 2022. Disponível em: <https://www.usgbc.org/resources/synergies-between-leed-and-sdgs>. Acesso em: 30 mai. 2025.

ZHOU, Y; ZHU, N.; FAN, Y. Model predictive control of central HVAC systems in smart commercial buildings. **Building and Environment**. v. 238, 2023.

ENERGY EFFICIENCY IN SMART BUILDINGS: A CASE STUDY ON THE OPTIMIZATION OF THE COOLING SYSTEM OPERATION IN A COMMERCIAL BUILDING

Abstract: *This article presents a case study on operational improvement actions in the cooling system of a commercial building in Recife, Brazil, evaluating their impacts on energy efficiency. Aligned with the UN's 2030 Agenda and ESG guidelines, the study highlights the importance of sustainable strategies in building operations, with a focus on central HVAC systems. The building features automation in the chilled water plant (CAG), condenser water plant (CAC), fan coil units (fancoils), and variable air volume systems (VAVs). The methodology combines documentary analysis and time series analysis, using energy consumption data from December 2021 to April 2025. The analysis focuses on the effects of improvements implemented since August 2022. The results indicate that the period from April to October 2024—with specific operating conditions of the CAG—was the most efficient, showing a reduction in consumption even with an increase in thermal load. Furthermore, the study presents itself as an opportunity for applying the Problem-Based Learning (PBL) methodology in engineering education.*

Keywords: *Energy efficiency. Smart buildings. Cooling. Building automation. Problem-Based Learning.*

