XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

Auditoria Energética de Nível 2 Aplicada à Central de Água Gelada: Diagnóstico e Medidas de Eficiência

Auditoría Energética de Nivel 2 Aplicada a la Central de Agua Helada: Diagnóstico y Medidas de Eficiencia

Level 2 Energy Audit Applied to the Chilled Water Plant: Diagnosis and Efficiency Measures

Eficiência Energética / *Eficiencia Energética / Energy Efficiency*

Resumo

O consumo elétrico de uma central de água gelada representa em torno de 40 % do consumo total de um edifício comercial. Proprietários e gestores têm percebido a ineficiência de seus sistemas prediais, influenciados por fatores como a falta de automação integrada ou a baixa capacitação da equipe de manutenção. Este artigo apresenta os resultados de uma auditoria energética de nível 2, baseado no guia técnico da ASHRAE (*Procedures for Commercial Building Energy Audits*), realizada em um edifício comercial. O estudo avaliou a eficiência da central de água gelada, identificou ineficiências e propôs medidas corretivas. Os resultados indicaram um potencial de economia de 13,9% no consumo energético da central de água gelada, equivalente a uma redução anual de 86.959 kWh.

Palavras-chave: Eficiência Energética. Central de Água Gelada.

Resumen

El consumo eléctrico de una central de agua helada representa alrededor del 40 % del consumo total de un edificio comercial. Propietarios y gestores han percibido la ineficiencia de sus sistemas edilicios, influenciados por factores como la falta de automatización integrada o la baja capacitación del equipo de mantenimiento. Este artículo presenta los resultados de una auditoría energética de nivel 2, basada en la guía técnica de ASHRAE (Procedures for Commercial Building Energy Audits), realizada en un edificio comercial. El estudio evaluó la eficiencia de la central de agua helada, identificó ineficiencias y propuso medidas correctivas. Los resultados indicaron un potencial de ahorro del 13,9% en el consumo energético de la central de agua helada, equivalente a una reducción anual de 86.959 kWh.

Palabras clave: Eficiencia Energética. Central de Agua Helada.

Abstract

The electrical consumption of a chilled water system represents around 40% of the total consumption in a commercial Building. Owners and managers have noticed the inefficiency of their building systems, influenced by factors such as the lack of integrated automation or the low qualification of the maintenance team. This article presents the results of a Level 2 energy audit, based on ASHRAE's technical guide (Procedures for Commercial Building Energy Audits), conducted in a commercial building. The study evaluated the efficiency of the chilled water system, identified inefficiencies, and proposed corrective measures. The results indicated a potential savings of 13.9% in the energy consumption of the chilled water system, equivalent to an annual reduction of 86,959kWh.

Keywords: Energy Efficiency. Chilled Water System.

Introdução

A eficiência energética em edificações existentes é essencial para reduzir o consumo de energia e impulsionar a sustentabilidade no setor. No entanto, em 2023, apenas cerca de 50 países possuíam requisitos específicos para esses edifícios, geralmente aplicados apenas em grandes reformas (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2024). Nesse contexto, a auditoria energética identifica oportunidades de otimização, especialmente em sistemas críticos como a central de água gelada.

Responsáveis por grande parte do consumo elétrico, as centrais de água gelada são fundamentais para a climatização de prédios comerciais. A eficiência desses sistemas depende de fatores como dimensionamento adequado, manutenção e operação otimizada. O Plano de Operação, Manutenção e Controle (PMOC) é essencial para evitar desperdícios e custos elevados (MME, 2016a).

Este estudo apresenta os resultados de uma auditoria energética em um edifício comercial, seguindo as diretrizes do *Procedures for Commercial Building Energy Audits*. Os objetivos incluem: (i) diagnosticar o desempenho da central de água gelada; (ii) identificar ineficiências energéticas; e (iii) propor melhorias operacionais e técnicas. A metodologia adotada permite a replicação do diagnóstico em outros edifícios com sistemas semelhantes.

Os achados podem orientar edificações com perfis operacionais similares, especialmente em climas tropicais e subtropicais. As soluções propostas envolvem ajustes operacionais, automação e manutenção preditiva, adaptáveis a diferentes instalações. No Brasil, fatores como o custo da eletricidade e regulamentações, como o PBE Edifica e a ISO 50001, reforçam a importância da gestão energética e eficiência energética em seus sistemas.

Além de aprimorar o desempenho da central analisada, este estudo fornece diretrizes replicáveis por pesquisadores e profissionais da área, incentivando boas práticas de gestão energética.

O artigo está estruturado em cinco seções: auditoria energética (Seção 2), metodologia (Seção 3), resultados e discussão (Seção 4) e conclusão (Seção 5).

Auditoria Energética

A auditoria energética, também conhecida como revisão energética, é um processo técnico e sistemático para identificar melhorias no desempenho energético de edificações (MME, 2016b). Segundo a *Procedures for Commercial Building Energy Audits*, as auditorias energéticas são classificadas em três níveis conforme o grau de detalhamento da análise. O nível 1 consiste em uma avaliação preliminar, realizada por meio de uma inspeção visual e análise das faturas de energia, visando identificar medidas de eficiência energética de baixo custo e fácil implementação. O nível 2 envolve uma análise detalhada, incluindo medições em campo e modelagem simplificada para avaliar com mais precisão o consumo energético e o impacto financeiro das melhorias propostas. Já o nível 3 corresponde a uma auditoria de investimento, caracterizada por simulações avançadas, medições extensivas e estudos de viabilidade técnica e financeira, sendo essencial para projetos de grande escala e decisões de investimento estruturadas (ASHRAE, 2011).

Edifícios comerciais consomem grande quantidade de energia, especialmente em climatização e iluminação. Auditorias energéticas auxiliam no cumprimento de metas de eficiência (MME, 2016b).

A eficiência das centrais de água gelada é avaliada por indicadores como o *Coefficient of Performance* (COP) e *Integrated Part Load Value* (IPLV) (AHRI, 2023). Os *chillers*, principais componentes desses sistemas, variam conforme o tipo de compressor (parafuso, *scroll* e centrífugo). A escolha adequada e a modernização desses equipamentos podem reduzir o consumo em até 16% (FIAMETTI, 2018). Além disso, a manutenção preventiva, como inspeção de vazamentos e pressões, é essencial para evitar perdas de eficiência.

Tecnologias de medição contínua e monitoramento em tempo real garantem ajustes operacionais para máxima eficiência (AHRI, 2023). Assim, a literatura enfatiza a importância das auditorias energéticas para otimizar sistemas de climatização, destacando metodologias padronizadas, tecnologias avançadas e boas práticas de manutenção. Estudos científicos reforçam essa abordagem: uma auditoria *ASHRAE* Nível 2 aplicada em um hospital norte-americano demonstrou que a análise integrada de dados históricos, inspeções in loco e entrevistas com operadores permite identificar vulnerabilidades críticas, como a ausência de

redundância no sistema de resfriamento (SHARMA; UNUNE, 2024). Em edifício comercial em Toronto, verificou-se que a auditoria de Nível 2 proporciona uma análise mais aprofundada do desempenho energético, permitindo a identificação de medidas de conservação com retornos financeiros mensuráveis, especialmente em sistemas de água gelada operando com cargas parciais (TONG, 2017).

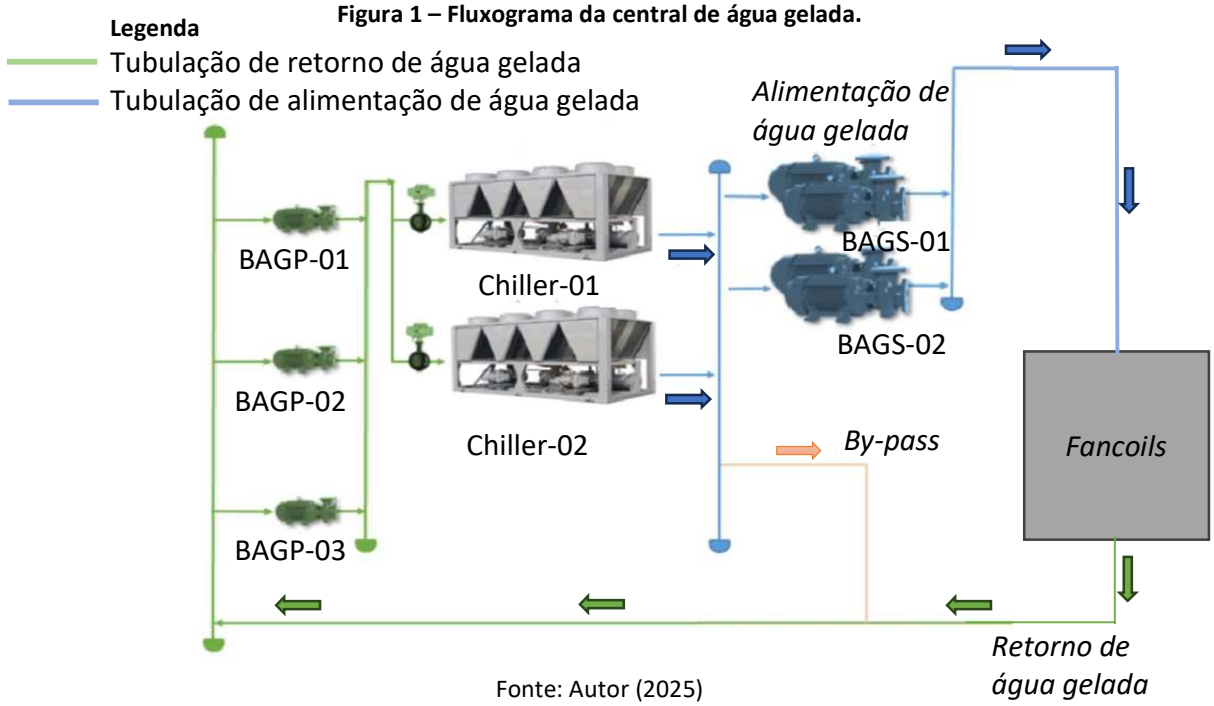
Metodologia

A metodologia segue o *Procedures for Commercial Building Energy Audits*, combinando análises quantitativas e qualitativas para avaliar a central de água gelada. O estudo usa *benchmarks* e variáveis do sistema de automação predial como suporte à auditoria energética, destacando a importância da manutenção preventiva para dados confiáveis e desempenho otimizado. Assim, fornece diretrizes para estudos e projetos futuros em eficiência energética.

Caracterização do Edifício e do Sistema

O edifício em análise é uma torre comercial com 10 andares e uma área total construída de aproximadamente 21.389 m² e 11.625 m² de área bruta locável, sendo que atualmente, o prédio se encontra 30 % ocupado, localizada em uma zona urbana de alta densidade (centro do Rio de Janeiro – RJ). O sistema de climatização é responsável por atender 100 % da carga térmica do edifício, o que correspondeu a um valor médio de 137 TR/dia (toneladas de refrigeração) no período analisado. Este valor é justificado pela alta vacância do prédio, com isso, apenas um *chiller* trabalhando em carga parcial foi suficiente para atender a demanda térmica. A figura 1 representa o fluxograma simplificado da central de água gelada objeto de estudo:

Figura 1 – Fluxograma da central de água gelada.



Fonte: Autor (2025)

A figura 1 representa a central de água gelada, cuja composição é formada pelos seguintes equipamentos:

- ***Chillers*****:** Dois *chillers (CHILLER-01 e 02)* com compressores parafuso, capacidade de 268 TR cada e COP de 2,93 e IPLV de 4,35, com mais de 5 anos de operação;
- **Bombas de circulação**: Três bombas no anel primário (BAGP-01, 02 e 03) e duas no secundário (BAGS-01 e 02), com conversores de frequência para modulação via pressão diferencial.
- **Controle e automação:** Sistema BMS integrado a CLPs e instrumentação digital.
- ***Fancoils*****:** Equipamentos de expansão indireta, que utilizam água gelada para refrigerar o ar em cada andar.

Com o sistema em funcionamento, a água gelada passa pelos *chillers* e é encaminhada aos *fancoils* através da bomba do anel secundário. As bombas do anel primário complementam o deslocamento da água dos *fancoils* até os *chillers* para que a temperatura da água diminua e o

processo seja reiniciado. Este é um circuito fechado, portanto, se a vazão de água no anel secundário for menor do que a vazão do anel primário, a diferença da taxa de vazão trafega pela tubulação de *by-pass*.

Levantamento de Dados

A coleta de informações foi realizada em três frentes principais:

1. Análise documental:
   a) Revisão dos projetos originais de climatização e especificações dos equipamentos.
   b) Histórico de consumo de energia elétrica no período de outubro de 2023 a outubro de 2024.
2. Entrevistas com a equipe de manutenção:
   a) Identificação de problemas recorrentes, como vazamentos e falhas intermitentes.
   b) Ajustes operacionais realizados sem suporte técnico especializado.
3. Observações in loco:
   a) Verificação visual das condições físicas dos *chillers* e bombas.
   b) Avaliação do nível de ruído e vibração dos equipamentos.

Medições e Diagnóstico

As medições foram realizadas durante treze meses através do sistema BMS, abrangendo o horário de operação do empreendimento (7:15h-18:15h). Os instrumentos utilizados incluíram:

- Multimedidores de grandezas elétricas: Para medições precisas do consumo elétrico trifásico dos *chillers* e bombas;
- Medidor de vazão do tipo roda d'água: Instalado na tubulação de água gelada para avaliar o fluxo em m^3/h e permitir que o BMS possa fornecer o valor de TR instantâneo da instalação;
- Sensores de temperatura imersos em poço: Posicionados na alimentação e retorno de água gelada e entrada e saída dos chillers.

A Tonelada de Refrigeração (TR) expressa a capacidade térmica de sistemas de climatização, equivalente à remoção de 12.000 BTU/h ou 3,517 kW. Em sistemas de água gelada, a carga

térmica é determinada pela vazão e variação de temperatura entre entrada e saída do evaporador. A equação utilizada é **TR = (Q × ΔT) / 3,024**, onde Q é a vazão (m³/h), ΔT a diferença de temperatura (°C) e 3,024 um fator de conversão térmica. Esse fator resulta do calor específico da água (1 kcal/kg.°C), sua densidade (1 kg/L) e a conversão de unidades (1 TR = 3024 kcal/h).

Essa equação é amplamente usada no dimensionamento e análise da eficiência de *chillers* e sistemas de climatização.

Os dados coletados foram usados para efetuar o levantamento do consumo elétrico da central de água gelada e calcular o COP. A tabela 1 mostra os dados extraídos da operação de uma parte do dia 03/04/2024:

Tabela 1 – Dados extraídos da auditoria.

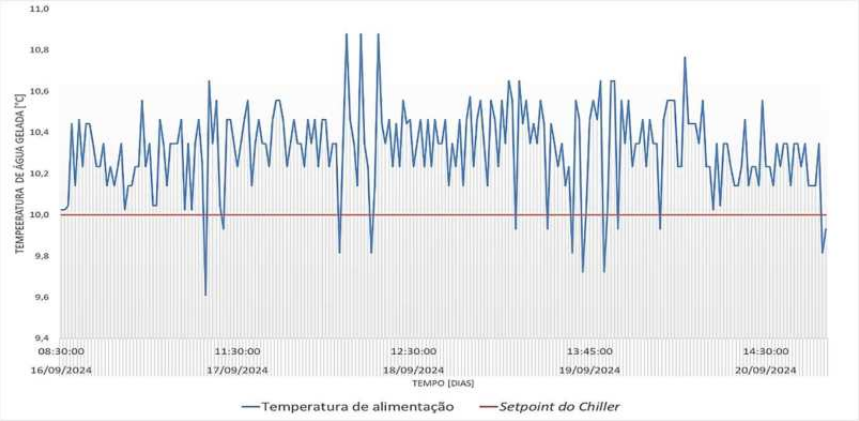
Hora	Temperatura de alimentação de água gelada [°C]	Temperatura de retorno de água gelada [°C]	Vazão de água gelada [m³/h]	Potência elétrica ativa - chiller 01 [kW]	Potência elétrica ativa - chiller 02 [kW]	Potência elétrica ativa - BAGS [kW]	Potência elétrica ativa - BAGP [kW]	Potência térmica instantânea da CAG [TR]	COP da CAG [kW/kW]
11:15	10,3	14,9	151,6	243,6	0,8	13,6	15,2	230	3,0
11:30	10,7	15,0	159,5	251,2	0,8	14,8	15,2	232	2,8
11:45	10,4	15,1	159,0	260,8	0,8	14,4	15,2	247	3,0
12:00	10,2	15,1	153,7	260	0,8	13,6	15,2	249	3,0
12:15	10,3	15,1	136,8	235,2	0,8	13,2	15,2	217	2,9
12:30	10,6	15,1	137,0	224,8	0,8	13,2	15,2	208	2,8
12:45	10,2	15,4	130,5	224,4	0,8	12,4	15,2	221	3,1

Fonte: Autor (2025)

Análise de Desempenho e Proposta de Melhoria

Os dados operacionais indicam que os *chillers* operam com *setpoint* de 10°C, mas a temperatura de alimentação de água gelada varia entre 9,2°C e 11,1°C, evidenciando instabilidade no controle térmico. A figura 2 indica uma variação aproximada em um período de apenas uma semana:

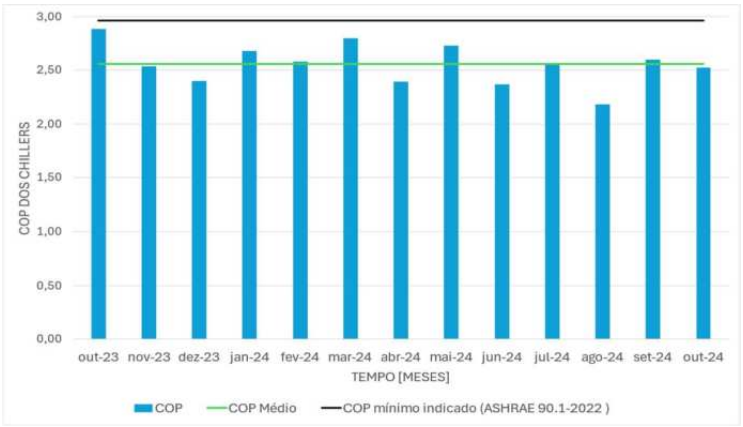
Figura 2 – Gráfico da temperatura de água gelada.



Fonte: Autor (2025)

A oscilação da temperatura da água gelada impacta o COP do chiller, afetando tanto a carga térmica quanto o consumo do compressor. Temperaturas mais altas reduzem a capacidade do sistema, enquanto temperaturas mais baixas aumentam o consumo energético. Essa instabilidade leva a ciclos frequentes de liga/desliga, elevando o consumo elétrico e resultando em um COP médio de 2,55 — abaixo do mínimo de 2,96 recomendado pela ASHRAE 90.1 (ASHRAE, 2022). A Figura 3 apresenta a variação do COP mensal com base nas medições realizadas durante o período monitorado.

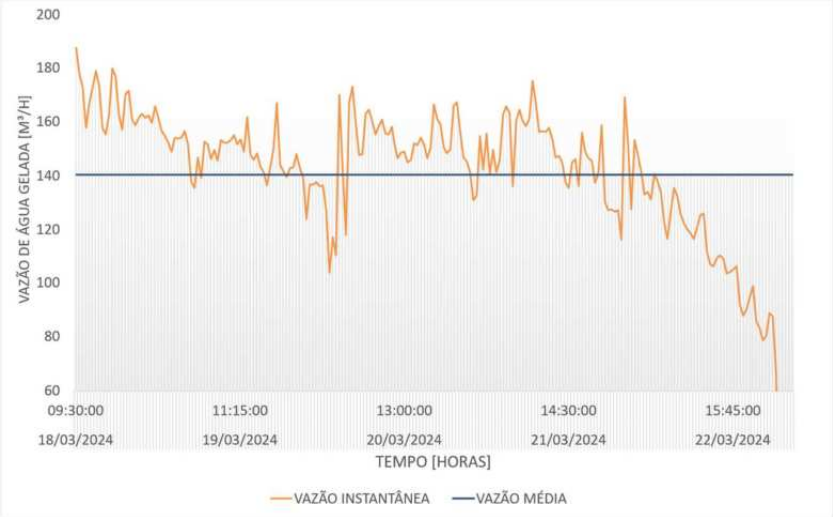
Figura 3 – Gráfico do coeficiente de performance dos *chillers*.



Fonte: Autor (2025)

A variação da vazão no anel secundário afeta a eficiência do chiller ao modificar a temperatura de retorno ao evaporador, prejudicando a troca térmica e aumentando o consumo energético. Vazões reduzidas aumentam a relação de compressão, enquanto vazões elevadas reduzem a eficiência da troca térmica. Oscilações frequentes também provocam partidas constantes do compressor, reduzindo sua vida útil. A Figura 4 apresenta as variações de vazão média e instantânea no período analisado.

Figura 4 – Gráfico de vazão de água gelada.



Fonte: Autor (2025)

Resultados e Discussão

A auditoria revelou que o sistema opera com um COP médio de 2,55. A análise documental identificou discrepâncias entre os projetos originais e a operação atual, além de alto consumo elétrico entre outubro de 2023 e outubro de 2024. Entrevistas com a equipe de manutenção apontaram vazamentos, falhas intermitentes e ajustes sem suporte técnico, afetando o desempenho dos *chillers*. Inspeções in loco indicaram ruído e vibração excessivos, reforçando a necessidade de correções. Além disso, ao comparar os dados operacionais com as informações do catálogo do fabricante, observou-se que o *chiller* possui um COP nominal de 2,93, valor superior ao COP médio em campo, o que confirma um desempenho abaixo do esperado. A análise do histórico de operação permitiu o cálculo do IPLV em campo, que resultou em 2,68, inferior ao

valor 4,35 indicado no catálogo, indicando que o chiller não está operando eficientemente em cargas parciais.

Propostas de melhoria do sistema

Para melhorar o COP do sistema, recomenda-se revisar a lógica de controle da automação, ajustando a pressão diferencial e aprimorando o controle térmico. Atualmente, uma única bomba no anel secundário regula a pressão via algoritmo PI (Proporcional-Integral), mas oscilações na vazão indicam parâmetros inadequados, comprometendo a eficiência. Ajustar o PI evitará variações bruscas no desempenho do *chiller*. Além disso, um controle preditivo permitirá ajustes com base em sensores de temperatura, vazão e pressão diferencial, antecipando variações térmicas e reduzindo a sobrecarga do compressor. A estabilização da temperatura da água gelada minimiza oscilações que afetam a capacidade de resfriamento e a eficiência. Com essas melhorias aplicadas, se o COP médio anual subir de 2,55 para 2,96 (próximo ao valor de catálogo do *chiller*), o consumo de energia elétrica anual irá reduzir de 627.528 kWh para 540.568 kWh, economizando 86.959 kWh (13,9%). Essas ações garantem maior eficiência, reduzindo custos e impactos ambientais, alinhando-se às boas práticas da ASHRAE, porém, outros fatores podem influenciar na melhoria da eficiência o sistema tal como manutenção do equipamento e condições externas de temperatura.

Conclusão

A auditoria da central de água gelada identificou baixa eficiência nos chillers, que operaram com COP médio de 2,55, abaixo do valor de referência (2,96). Para melhorar o desempenho, recomenda-se ajustar a lógica de automação, estabilizar a vazão via controle PI e implementar controle preditivo. A otimização da sequência de operação e do setpoint da água gelada pode reduzir o consumo em 13,9% (86.959 kWh/ano), aumentando a confiabilidade, a vida útil dos equipamentos e o valor do imóvel, em alinhamento com metas de sustentabilidade.

Propostas Futuras

Recomenda-se simular cenários com *EnergyPlus* e avaliar o uso de machine learning para otimizar a operação da central com base na automação atual.

Referências

AHRI. **Standard 550/590: Performance Rating of Water-Chilling and Heat Pump Water-Heating Packages Using the Vapor Compression Cycle**. Arlington: Air-Conditioning, Heating, and Refrigeration Institute, 2023. Disponível em: https://www.ahrinet.org/system/files/2023-06/ANSI%20AHRI%20Standard%20550%20590-2023%20%28I-P%29.pdf. Acesso em: 18 fev. 2025.

ASHRAE**. Standard 90.1: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers**, 2022.

ASHRAE**. Procedures for Commercial Building Energy Audits**. 2. ed. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2011.

FIAMETTI, Rafael Augusto. **Estudo de caso: eficiência energética em sistemas de climatização por água gelada**. 2018. 43 f. Monografia (Especialização em Eficiência Energética) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Energy Efficiency Market Report 2024*. Paris: IEA, 2024. Disponível em: https://iea.blob.core.windows.net/assets/f304f2ba-e9a2-4e6d-b529-fb67cd13f646/EnergyEfficiency2024.pdf. Acesso em: 18 fev. 2025

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano de operação, manutenção e controle: desempenho energético operacional em edificações**. Brasília: MME, 2016a. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/ee/publicacoes-e-estudos/Produto4.40778751.pdf. Acesso em: 6 jan. 2025.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Guia Prático para Realização de Diagnósticos Energéticos em Edificações**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2016b.

SHARMA, Vibhu; UNUNE, Deepak. *Enhancing reliability and efficiency: an ASHRAE Level 2 energy audit of a regional hospital*. Journal of Data Analytics and Engineering Decision Making, v. 1, n. 1, p. 1–8, 2024.

TONG, Lisa Catherine. *The economical benefits of conducting an ASHRAE Level II energy audit*. 2017. Master's Research Project (Master of Building Science) – Ryerson University, Toronto, 2017.