



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO (CTC)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Ellen Casanova Nunes

Avaliação de Consumo de Energia e Qualidade do Ambiente Interno: Estudo De
Caso em Escola de Ensino Fundamental em Florianópolis/ SC

Florianópolis

2026

Ellen Casanova Nunes

Avaliação de Consumo de Energia e Qualidade do Ambiente Interno: Estudo De
Caso em Escola de Ensino Fundamental em Florianópolis/ SC

Dissertação submetida ao Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil da
Universidade Federal de Santa Catarina como
requisito parcial para a obtenção do título de
Mestra em Construção Civil.

Orientadora: Prof^a. Ana Paula Melo, Dr^a
Coorientador: Matheus Soares Geraldi, Dr.

Florianópolis
2026

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela BU/UFSC. Dados inseridos pelo próprio autor.

Casanova Nunes, Ellen

Avaliação de Consumo de Energia e Qualidade do Ambiente Interno : Estudo De Caso em Escola de Ensino Fundamental em Florianópolis/ SC / Ellen Casanova Nunes ; orientadora, Ana Paula Melo, coorientadora, Matheus Soares Geraldi, 2026.

201 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2026.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Eficiência Energética. 3. Auditoria Energética. 4. Qualidade do Ambiente Interno. 5. Edificação Educacional. I. Melo, Ana Paula. II. Geraldi, Matheus Soares. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. IV. Título.

Ellen Casanova Nunes

**Avaliação de Consumo de Energia e Qualidade do Ambiente Interno: Estudo de Caso
em Escola de Ensino Fundamental em Florianópolis/ SC**

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 24 de fevereiro de 2026, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Roberto Lamberts, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Aldomar Pedrini, Dr.
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.



Documento assinado digitalmente
Rafael Holdorf Lopez
Data: 18/03/2026 17:51:58-0300
CPF: ***.262.979-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Coordenação do Programa de Pós-Graduação



Documento assinado digitalmente
Ana Paula Melo
Data: 18/03/2026 13:40:49-0300
CPF: ***.918.339-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof^a. Ana Paula Melo, Dr^a.
Orientadora

Florianópolis, 2026

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à minha família, que sempre foi minha base. À minha mãe, Edi, por ser minha inspiração e incentivo constante nos estudos; à minha irmã, Lauren, por tornar os dias mais divertidos; e ao Misa, por estar sempre ao meu lado, oferecendo apoio, paciência e amor em todos os momentos desta jornada.

Agradeço à minha orientadora, Prof.^a Ana Paula Melo, pela dedicação, paciência e orientação ao longo de todo o trabalho. Suas perguntas instigantes, críticas construtivas e incentivo contínuo me ajudaram a aprimorar ideias e a crescer como pesquisadora, sempre com atenção e cuidado para com seus alunos. Agradeço ao meu coorientador, Matheus Geraldi, que além de compartilhar conhecimento, trouxe sensibilidade, palavras de conforto e incentivo em todos os momentos. Seu apoio e orientações foram essenciais para a construção desta pesquisa e da pesquisadora que venho me tornando.

Agradeço aos amigos do LabEEE — Luiza de Castro, Brenda Loeser, Natasha Gapski, Clara Zibetti, Igor Sartori, Mateus Bavaresco, Larissa Pereira, João Ferreira, Liege Garlet, Greici Ramos, Renata De Vecchi e outros — que, em muitos momentos, também se tornaram meus professores, compartilhando ideias, experiências e aprendizados que tornaram esta trajetória mais leve e enriquecedora. Em especial, agradeço à Júlia Milani, minha “dupla” de mestrado, pelo apoio incansável na leitura, na troca de ideias e pela amizade ao longo de toda a jornada. Agradeço também pelos momentos de descontração, amizade e café na copa; cada um de vocês se tornou importante para mim, não apenas pelo apoio acadêmico, mas pelo jeito de ser.

Agradeço também ao, Prof. Dr. Roberto Lamberts pelas aulas e conhecimento compartilhado que foram essenciais para o meu aprendizado, e ao Prof. Dr. Aldomar Pedrini por aceitar participar da banca avaliadora e pela atenção e disponibilidade para contribuições e melhoria deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos os colaboradores, técnicos, instituições e financiadores que, direta ou indiretamente, possibilitaram a realização desta pesquisa. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, e à equipe escolar da EBM Maria Conceição Nunes, que acolheu a minha pesquisa e que possui visível zelo e dedicação à educação das crianças da unidade.

...a todos os professores que se empenham na árdua tarefa de alfabetização na escola pública, valendo-se de garra e criatividade para superar os obstáculos presentes nos ambientes educacionais tocados pela arquitetura escolar. Essa arquitetura nem sempre proporciona um suporte adequado para a educação almejada e necessita ser discutida, repensada e aperfeiçoada.

Kowaltowski (2020)

RESUMO

Este trabalho apresenta uma avaliação do consumo de energia e da qualidade do ambiente interno (QAI) em uma escola pública de ensino fundamental em Florianópolis/SC. A pesquisa foi desenvolvida por meio de uma abordagem de avaliação pós-ocupação, integrando auditoria energética, medições *in loco* da QAI, questionário de satisfação dos ocupantes e simulação computacional calibrada utilizando o programa EnergyPlus.

A auditoria energética consistiu no levantamento de todos os sistemas e equipamentos consumidores de energia elétrica, realizado detalhadamente por ambiente. Para equipamentos representativos, como geladeiras, freezers e micro-ondas, foram efetuadas medições *in loco* de potência. Os valores obtidos foram combinados com os perfis de uso, permitindo estimar os usos finais de energia anual, de verão e de inverno.

As medições da QAI contemplaram os domínios térmico, lumínico e de qualidade do ar em duas salas de aula, com monitoramento de uma semana em cada sala, nas estações quente e fria. No domínio térmico, foram registradas temperatura do ar, umidade relativa, temperatura de globo e velocidade do ar. No domínio lumínico, realizou-se uma medição pontual de iluminância no plano de trabalho, e a qualidade do ar foi avaliada pela concentração de CO₂. Além disso, a avaliação da QAI incluiu a aplicação de questionário de satisfação dos ocupantes abrangendo os domínios térmico, lumínico, qualidade do ar e acústico.

A análise energética revelou densidades de potência de iluminação (DPI) e de equipamentos (DPE) abaixo dos parâmetros normativos, mas a QAI indicou níveis de iluminância insuficientes, evidenciando que baixo consumo não significa eficiência. Observou-se também que cargas internas padronizadas em simulações computacionais tendem a superestimar o consumo real, reforçando a importância de dados medidos para calibrar as simulações.

A avaliação da QAI também identificou problemas no domínio térmico e na qualidade do ar interno, com horários fora da faixa de temperatura operativa e episódios de altas concentrações de CO₂ associados à operação inadequada do sistema de climatização e à falta de renovação de ar eficiente.

Medidas de eficiência energética foram propostas e avaliadas por simulação computacional, indicando que é possível reduzir o consumo e melhorar simultaneamente o conforto, desde que adotadas estratégias integradas de projeto, operação e uso da edificação. O estudo fornece evidências para revisão de parâmetros de simulação e referência práticas para gestão e políticas de melhoria do ambiente escolar.

Palavras-Chave: Auditoria Energética, Qualidade do Ambiente Interno, Satisfação Ambiental, Edificação Educacional, Simulação Computacional.

ABSTRACT

This paper presents an assessment of energy consumption and indoor environmental quality (IEQ) in a public elementary school in Florianópolis, Santa Catarina. The research was conducted using a post-occupancy evaluation approach, integrating an energy audit, on-site IEQ measurements, an occupant satisfaction questionnaire, and a calibrated computer simulation using the EnergyPlus program. The energy audit consisted of a detailed survey of all electrical energy-consuming systems and equipment in each environment. For representative equipment, such as refrigerators, freezers, and microwaves, on-site power measurements were taken. The values obtained were combined with usage profiles, allowing for estimates of annual, summer, and winter energy end uses.

IAQ measurements covered the thermal, lighting, and air quality domains in two classrooms, with one week of monitoring in each room during the hot and cold seasons. In the thermal domain, air temperature, relative humidity, globe temperature, and air velocity were recorded. In the lighting domain, a spot measurement of illuminance was taken at the work surface, and air quality was assessed by CO₂ concentration. In addition, the IAQ assessment included a satisfaction questionnaire for occupants covering the thermal, lighting, air quality, and acoustic domains.

The energy analysis revealed lighting power densities (LPD) and equipment power densities (EPD) below regulatory parameters, but the IAQ indicated insufficient illuminance levels, showing that low consumption does not mean efficiency. It was also observed that standardized internal loads in computer simulations tend to overestimate actual consumption, reinforcing the importance of measured data to calibrate simulations.

The IAQ assessment also identified problems in the thermal domain and indoor air quality, with times outside the operating temperature range and episodes of high CO₂ concentrations associated with improper operation of the air conditioning system and lack of efficient air renewal.

Energy efficiency measures were proposed and evaluated by computer simulation, indicating that it is possible to reduce consumption and simultaneously improve comfort, provided that integrated strategies for building design, operation, and use are adopted. The study provides evidence for reviewing simulation parameters and practical references for management and policies to improve the school environment.

Keywords: Energy Audit, Indoor Environmental Quality, Indoor Environmental Quality (IEQ) Satisfaction, Educational Building, Computer Simulation,

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura do instrumento de pesquisa OSS.....	49
Figura 2 - Fluxograma da metodologia proposta.....	55
Figura 3 - Fachada frontal da instituição.....	56
Figura 4 – Localização do edifício.....	56
Figura 5 - Vista superior do objeto de estudo.....	57
Figura 6 - Orientação solar.....	58
Figura 7 - Detalhes da fachada oeste.....	59
Figura 8 - Horário de ocupação.....	60
Figura 9 - Carta solar Florianópolis.....	62
Figura 10 - Temperatura horária média sazonal dos arquivos climáticos.....	64
Figura 11 - Eletrodomésticos medidos.....	67
Figura 12 - Tomada Inteligente TAPO P110.....	67
Figura 13 - Equipamentos de medição e central de rede de internet.....	68
Figura 14 - Método de calibração baseado em evidências.....	70
Figura 15 - Localização das salas de aula adotadas para a realização da medição.....	74
Figura 16 - Sala de aula 1.....	75
Figura 17 - Sala de Aula 2.....	75
Figura 18 - Confortímetro utilizado para as medições relacionadas ao domínio térmico.....	76
Figura 19 - Hobo MX 1102A logger.....	77
Figura 20 - Planta baixa da sala 1 com indicação da disposição dos hobos.....	78
Figura 21 - Planta baixa da sala 2 com indicação da disposição dos hobos.....	78
Figura 22 - Luxímetro digital Minipa MLM 1011.....	79
Figura 23 - Céu no dia da medição de iluminância.....	79
Figura 24 - Malha de pontos de medição na sala 1.....	80
Figura 25 - Malha de pontos de medição na sala 2.....	81
Figura 26 - Estrutura da adaptação do questionário.....	82
Figura 27 - Cognito Forms - ferramenta para o desenvolvimento do questionário ramificado.....	83
Figura 28 - Consumo de energia elétrica mensal (kWh) (2024).....	87
Figura 29 - Consumo de energia elétrica mensal (kWh) (2023) - Projeto Cidades Eficientes.....	88
Figura 30 - Demanda contratada e ultrapassada (2024).....	89
Figura 31 - Cálculo de demanda.....	90
Figura 32 - EUI - Intensidade do uso de energia.....	91
Figura 33 - Benchmarking energético na Plataforma DEO.....	93
Figura 34 - Planta Baixa com indicação das categorias de ambiente.....	94

Figura 35 - Máscara de sombreamento para a sala de aula 2.....	97
Figura 36 - Densidade de potência de iluminação (DPI) por categoria de ambiente.....	99
Figura 37 - Densidade de potência de equipamentos (DPE) por categoria de ambiente.....	102
Figura 38 - Comparação entre as cargas internas.....	103
Figura 39 - Freezers e Geladeiras.....	104
Figura 40 - Imagem ventilador de parede.....	107
Figura 41 - Comparação entre consumo de energia estimado e real.....	108
Figura 42 - Consumo de energia - verão.....	109
Figura 43 - Consumo de energia - Inverno.....	110
Figura 44 - Modelo de simulação de energia.....	111
Figura 45 – Comparação entre os dados reais de faturamento e os resultados simulados.....	115
Figura 46 - Validação de cargas: auditado vs. simulado.....	116
Figura 47 - Comparação entre consumo real, auditado e simulado.....	117
Figura 48 - Amostra dos respondentes da pesquisa de satisfação dos ocupantes - gênero e faixa etária.....	118
Figura 49 - Amostra dos respondentes da pesquisa de satisfação dos ocupantes - ambiente de trabalho.....	118
Figura 50 - porcentagem de satisfeitos para cada domínio.....	119
Figura 51 - Temperatura do ar externo na primeira rodada de medição (abril).....	120
Figura 52 - Umidade relativa externa na primeira rodada de medição (abril).....	120
Figura 53 – Resultados do conforto térmico adaptativo referentes à primeira rodada de medições - sala 1.....	122
Figura 54 – Resultados do conforto térmico adaptativo referentes à primeira rodada de medições - sala 2.....	123
Figura 55 - Temperatura do ar externo na segunda rodada de medição (agosto)...	124
Figura 56 - Umidade relativa externa na segunda rodada de medição (agosto).....	125
Figura 57 – Resultados do conforto térmico adaptativo referentes à segunda rodada de medições - sala 1.....	126
Figura 58 – Resultados do conforto térmico adaptativo referentes à segunda rodada de medições - sala 2.....	127
Figura 59 - Percepção sazonal do ambiente térmico.....	128
Figura 60 - Satisfação sazonal com o ambiente térmico.....	129
Figura 61 - Temperatura do ar interno na sala 1 durante a primeira medição.....	130
Figura 62 - Medições referentes à qualidade do ar na estação quente na sala 1...	130
Figura 63 - Concentração de CO ₂ por altura - Sensor parede A.....	131
Figura 64 - Concentração de CO ₂ por altura - Sensor parede B.....	132
Figura 65 - Temperatura do ar interno na sala 2 durante a primeira medição.....	133
Figura 66 - Medições referentes a qualidade do ar na estação quente na sala 2..	133

Figura 67 - Concentração de CO ₂ por altura - Sensor parede esquerda.....	134
Figura 68 - Concentração de CO ₂ por altura - Sensor parede direita.....	134
Figura 69 - Temperatura do ar interno na sala 1 durante a segunda medição.....	135
Figura 70 - Medições referentes à qualidade do ar na estação fria na sala 1.....	136
Figura 71 - Concentração de CO ₂ por altura - Sensor parede frente.....	137
Figura 72 - Concentração de CO ₂ por altura - Sensor parede fundo.....	137
Figura 73 - Temperatura do ar interno na sala 2 durante a segunda medição.....	138
Figura 74 - Medições referentes à qualidade do ar na estação fria na sala 2.....	139
Figura 75 - Concentração de CO ₂ por altura - Sensor parede esquerda.....	139
Figura 76 - Concentração de CO ₂ por altura - Sensor parede direita.....	140
Figura 77 - Sintomas relacionados à qualidade do ar interno.....	141
Figura 78 - Nível de satisfação com a qualidade do ar interno.....	141
Figura 79 - Iluminâncias (lux) medidas na sala 1 - cortinas fechadas (02/11/2025 15:00).....	143
Figura 80 - Janela com pintura escura (Bloco A).....	144
Figura 81 - Iluminâncias (lux) medidas na sala 2 - cortinas fechadas (02/11/2025 15:15).....	145
Figura 82 - Iluminâncias (lux) medidas na sala 2 - cortinas abertas (02/11/2025 15:20).....	146
Figura 83 - Sintomas relacionados ao domínio visual.....	147
Figura 84 - Percepção da disponibilidade de iluminação artificial e ofuscamento... ..	147
Figura 85 - Percepção da disponibilidade de iluminação natural.....	148
Figura 86 - Percepção sobre a ocorrência de ofuscamento gerado pela iluminação natural.....	149
Figura 87 - Sintomas relacionados ao domínio acústico.....	150
Figura 88 - Percepção de ruído.....	150
Figura 89 - Iluminância planejada para o cenário CEN IL 1.....	155
Figura 90 - Comparação entre os cenários de MEE.....	158
Figura 91 - Comparação consumo anual por m ² e variação percentual entre os cenários.....	160
Figura 92 - Consumo de energia mensal - cenário MEE 6.....	161
Figura 93 - Benchmarking energético DEO - Cenário MEE 6.....	161

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fonte dos dados para o modelo de simulação computacional.....	72
Quadro 2 - Informações técnicas dos instrumentos de medição utilizados.....	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos e quantidades de ambientes.....	61
Tabela 2 - Categorização dos ambientes e área total.....	93
Tabela 3 - Componentes construtivos para o modelo de simulação computacional.....	95
Tabela 4 - Levantamento do sistema de iluminação.....	98
Tabela 5 - Levantamento dos equipamentos.....	99
Tabela 6 - Levantamento de geladeiras, refrigeradores e freezers.....	103
Tabela 7 - Levantamento dos condicionadores de ar.....	104
Tabela 8 - Valores de iluminância (lux) por ponto da malha.....	145
Tabela 9 - Caracterização das Medidas de Eficiência Energética (MEE).....	152

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas;
APO	Avaliação Pós-Ocupação;
ASHRAE	Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado (<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>);
BEN	Balanço Energético Nacional;
CBCS	Conselho Brasileiro de Construção Sustentável;
CO ₂	Dióxido de Carbono;
CV(RMSE)	Coeficiente de Variabilidade do Erro Quadrático Médio;
EUI	Intensidade de Uso de Energia (<i>Energy Use Intensity</i>);
HVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (<i>Heating, Ventilation and Air Conditioning</i>);
INI	Instrução Normativa Inmetro;
ISO	Organização Internacional de Normalização (<i>International Organization for Standardization</i>);
MBE	Erro de Viés Médio (<i>Mean Bias Error</i>);
MEE	Medidas de Eficiência Energética;
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem;
PMP	Protocolos de medição de desempenho (<i>Performance Measurement Protocols - ASHRAE</i>);
PMV	Voto médio Predito (<i>Predicted Mean Vote</i>);
PPD	Porcentagem Predita de Insatisfeitos (<i>Predicted Percentage of Dissatisfaction</i>);
ppm	Partes por milhão
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica;
QAI	Qualidade do Ambiente Interno;
TMY	Ano Meteorológico Típico (<i>Typical Meteorological Year</i>);
Tar	Temperatura de bulbo seco do ar;
UR	Umidade relativa;
Var	Velocidade do ar.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1. OBJETIVO GERAL.....	20
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
1.3. ESTRUTURA.....	21
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	23
2.1. CONSUMO DE ENERGIA EM EDIFICAÇÕES.....	23
2.2. AUDITORIA ENERGÉTICA.....	34
2.3. QUALIDADE DO AMBIENTE INTERNO.....	40
2.3.1. Conforto térmico.....	40
2.3.2. Qualidade do ar interior.....	43
2.3.3. Ambiente visual.....	45
2.3.4. Ambiente acústico.....	46
2.3.5. Questionário de satisfação dos ocupantes.....	46
2.4. MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	50
2.5. SÍNTESE DA REVISÃO DE LITERATURA.....	51
3 MÉTODO.....	54
3.1. CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO.....	56
3.1.1. Caracterização do clima de Florianópolis/ SC.....	62
3.2. AUDITORIA ENERGÉTICA.....	64
3.2.1. Determinação do consumo de energia.....	65
3.2.2. Desenvolvimento do modelo de simulação de energia.....	69
3.3. QUALIDADE DO AMBIENTE INTERNO.....	74
3.4. PROPOSTA DE INTERVENÇÃO NA EDIFICAÇÃO.....	84
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	86
4.1. AUDITORIA ENERGÉTICA.....	86
4.1.1. Faturas de energia.....	86
4.1.2. Benchmarking energético.....	92
4.1.3. Verificação do projeto arquitetônico.....	93
4.1.4. Equipamentos elétricos e sistemas de iluminação.....	97
4.1.5. Estimativa do consumo de energia.....	107
4.1.6. Calibração do modelo energético.....	110
4.2. QUALIDADE DO AMBIENTE INTERNO.....	117
4.2.1. Térmico.....	119
4.2.2. Qualidade do ar.....	129
4.2.3. Lumínico.....	141
4.2.4. Acústico.....	149

4.3. PROPOSTAS DE INTERVENÇÃO NA EDIFICAÇÃO.....	153
5 CONCLUSÃO.....	163
REFERÊNCIAS.....	167
APÊNDICE A - LEVANTAMENTO DA POTÊNCIA NOMINAL DE ILUMINAÇÃO E EQUIPAMENTOS DA UNIDADE ESCOLAR.....	181
APÊNDICE B - ADAPTAÇÃO DO QUESTIONÁRIO.....	195

1 INTRODUÇÃO

Segundo a Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency – IEA*), o sistema energético atual é responsável por cerca de 75% das emissões globais de gases de efeito estufa. Os edifícios respondem por aproximadamente um terço do consumo mundial de energia, sendo que os não residenciais representam 8,76% desse total (IEA, 2024). Nesse contexto, a avaliação do uso de energia nas edificações e a renovação do estoque existente tornam-se essenciais para a redução do consumo global e das emissões associadas.

Diversos governos e organizações internacionais têm adotado medidas para promover a eficiência energética em edificações novas e existentes, por meio de legislações, pesquisas e iniciativas de mercado. Um exemplo é a Diretiva Relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios da União Europeia (2010/31/UE), reformulada em 2024, que abrange edificações residenciais e não residenciais e visa alcançar um parque imobiliário totalmente descarbonizado até 2050. No âmbito das iniciativas de mercado, destacam-se as certificações ambientais de edificações, como o *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM), o *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) e o *German Sustainable Building Council* (DGNB), que reconhecem construções projetadas e executadas com o objetivo de minimizar impactos ambientais.

Com os avanços tecnológicos em equipamentos mecânicos e elétricos e a melhoria do desempenho dos envelopes construtivos, a influência dos ocupantes sobre o consumo de energia tornou-se cada vez mais significativa. Atualmente, o comportamento dos ocupantes está entre os seis fatores mais determinantes do uso de energia em edifícios, sendo eles: o clima, a envoltória, serviços de construção e os sistemas de energia, a operação e manutenção, atividades e comportamento dos ocupantes e a qualidade ambiental interna. Os três últimos fatores estão diretamente relacionados à atividade e à presença humana, o que reforça a necessidade de compreender o papel dos ocupantes nesse contexto. Assim, torna-se importante a coleta e análise de dados sobre o comportamento dos usuários, de modo a otimizar o projeto de edifícios, o diagnóstico energético, a avaliação de desempenho e as

simulações energéticas, reduzindo lacunas existentes e subsidiando políticas públicas voltadas à redução do consumo (Bavaresco *et al.*, 2020; IEA, 2025; Rinaldi *et al.*, 2018; Stazi *et al.*, 2017).

Com isso, muitas pesquisas se dedicaram a compreensão do consumo de energia e do comportamento e influência dos usuários, como em estudos de avaliação pós-ocupação (Silva *et al.*, 2018; D'oca *et al.*, 2018; Martínez-Molina *et al.*, 2017; Da Graça *et al.*, 2004;), estudos sobre a satisfação ambiental (Ornstein *et al.*, 2016; Diniz *et al.*, 2017), e sobre a operação dos sistemas (Stazi *et al.*, 2017; Harputlugil *et al.*, 2021; Hong *et al.*, 2017). A incorporação de métodos qualitativos nas análises de consumo energético assume papel relevante, pois amplia a compreensão dos aspectos humanos envolvidos no uso das edificações. A partir desse entendimento, é possível desenvolver estratégias de eficiência energética mais centradas nas necessidades dos ocupantes, o que tende a aumentar sua aceitação e efetividade (Bavaresco *et al.*, 2020).

Apesar disso, muitos estudos nessa área tendem a se concentrar em apenas um fator (seja satisfação, operação ou comportamento) e, frequentemente, em um único tipo de ação, como abrir e fechar janelas ou ligar e desligar as luzes. Além disso, grande parte dessas pesquisas focam predominantemente em edificações residenciais. Nesse sentido, destaca-se a importância de expandir o escopo das pesquisas sobre a dimensão humana no consumo de energia, contemplando diferentes tipologias de edificações (hospitais, escolas, estações) (Xu *et al.*, 2023; Stazi *et al.*, 2017), dada a variação significativa entre os padrões de uso, e de consumo energético entre as tipologias e os contextos culturais e climáticos.

Entre as edificações não residenciais, as escolas compõem uma parcela significativa do estoque construído, contribuindo de forma relevante para o consumo global de energia e para os gastos públicos (Pereira *et al.*, 2014). Devido ao seu caráter pedagógico e ao potencial de redução do consumo, as escolas têm se tornado foco de projetos de eficiência energética e de pesquisas científicas (Gnecco, 2021; Pereira *et al.*, 2014). Mundialmente, diversos estudos vêm sendo desenvolvidos para compreender o desempenho energético real dessas edificações. Alguns se concentram na identificação de indicadores-chave para redução do consumo e realização de auditorias e retrofits (De Santoli *et al.*, 2014; Lourenço;

Pinheiro; Heitor, 2014; Merabtine *et al.*, 2018), enquanto outros abordam a caracterização e modelagem computacional do estoque construído (Daly *et al.*, 2022; Pereira *et al.*, 2014; Geraldi *et al.*, 2020b; Katafygiotou *et al.*, 2014; Michael-Ahile *et al.*, 2024; Wang, 2019).

No Brasil, o Balanço Energético Nacional (BEN) indica que a classe comercial, que inclui as escolas, consumiu 90.640 GWh em 2014, correspondendo a cerca de 17% do consumo elétrico nacional. Dentro desse grupo, as escolas representavam 2% do total (Geraldi *et al.*, 2022). Apesar dessa parcela reduzida, a pesquisa Posses e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Comercial e de Serviços (PPH), conduzida pela Empresa Brasileira de Participações em Energia Nuclear e Binacional (ENBPar) no âmbito do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), revelou que cerca de 40% das escolas ainda não possuem aparelhos de ar condicionado em nenhuma de suas salas, e que 61,41% dos equipamentos de climatização foram instalados nos últimos cinco anos (PROCEL, 2024). Esses dados evidenciam o crescimento do uso de sistemas de resfriamento, especialmente relevante diante do aumento das temperaturas globais, reforçando a necessidade de investigar o consumo energético nas escolas brasileiras.

Diversas iniciativas nacionais têm buscado promover a eficiência energética nas edificações, incluindo o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), que incentiva o uso racional dos recursos naturais. Outro exemplo é a Resolução CGIEE Nº 4, DE 26 DE SETEMBRO DE 2025 que regulamenta os índices mínimos de eficiência energética, publicada pelo Comitê Gestor de Índices e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE), presidido pelo Ministério de Minas e Energia (MME). Diante dessa resolução, a partir de 2027, será obrigatório que novos projetos de construção civil atendam aos Índices Mínimos de Eficiência Energética, adaptados a cada clima e região. A regra será implementada em etapas: inicialmente para prédios públicos, que devem atingir nível A da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), depois para outras edificações. As demais construções devem alcançar, no mínimo, nível C (BRASIL, 2025).

O Projeto Cidades Eficientes, desenvolvido pelo Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) em conjunto com prefeituras municipais em 2020,

também merece destaque por apoiar cidades na implementação de estratégias voltadas à eficiência energética, à geração distribuída e à mobilidade urbana sustentável em edifícios públicos.

No caso de Florianópolis, os dados do Projeto Cidades Eficientes indicam que a tipologia educacional representa 48,3% das edificações municipais avaliadas, configurando-se como a de maior consumo de energia (CBCS, 2020). Em consonância, o estudo de Geraldi e Ghisi (2020b) analisou escolas estaduais brasileiras, associando indicadores de desempenho energético à percepção dos diretores sobre consumo e conforto ambiental. Os resultados apontaram que a maioria das escolas públicas apresenta condições insatisfatórias de conforto térmico, e que o aumento da satisfação térmica está frequentemente associado a maior consumo de energia, evidenciando o dilema entre conforto e eficiência.

Diante desse cenário, observa-se que, no contexto brasileiro, ainda são escassos os estudos que abordam de forma integrada o comportamento dos ocupantes, a satisfação ambiental, a qualidade do ambiente interno (QAI) e o consumo de energia em edificações escolares. A literatura indica que, em grande parte das pesquisas, o desempenho energético e a QAI são analisados de maneira dissociada, o que limita a compreensão dos impactos conjuntos das condições ambientais sobre o uso de energia e o bem-estar dos usuários. Em ambientes escolares, essa lacuna é particularmente crítica, considerando a influência do ambiente físico no aprendizado, na saúde e no desempenho de alunos e professores.

Além disso, a inexistência de metodologias consolidadas que articulem avaliações de consumo energético com indicadores de QAI e dados perceptivos dos ocupantes reforça a necessidade de abordagens mais integradas e contextualizadas.

1.1. OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo compreender o consumo de energia e a satisfação ambiental interna de uma escola de ensino fundamental em Florianópolis,

promovendo uma discussão que integra ambos os aspectos por meio de um estudo de caso.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos são:

- Caracterizar o consumo de energia elétrica da escola para identificar os principais fatores que impactam no consumo de energia;
- Avaliar a qualidade do ambiente interno por meio de uma abordagem experimental que combina medições físicas e a aplicação de questionários para captar a percepção dos ocupantes;
- Avaliar qualitativamente a interação entre o consumo de energia e a qualidade do ambiente interno por meio de análise integrada dos dados coletados;
- Identificar estratégias de intervenção fundamentadas nas deficiências da qualidade do ambiente interno e analisar seus efeitos no consumo de energia.

1.3. ESTRUTURA

Este texto está organizado em cinco capítulos. Sendo o primeiro capítulo de caráter introdutório, este apresenta contextualização do tema, problemática e os objetivos. O segundo capítulo contém a revisão de literatura que delimita os conceitos sobre a temática e apresenta os principais trabalhos e pesquisas desenvolvidas na área de estudo. No terceiro capítulo discorre-se sobre o método da pesquisa, sendo cada parte apresentada detalhadamente em quatro subcapítulos: Caracterização da edificação, Auditoria Energética, Qualidade do Ambiente Interno e Medidas de Eficiência Energética. O quarto capítulo aborda os resultados obtidos no estudo e desenvolve uma discussão em torno desses resultados. Por fim, o quinto capítulo apresenta as conclusões, evidenciando as limitações do presente trabalho.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura adotada neste estudo foi de caráter narrativa.. Esse método de revisão permite uma ampla descrição sobre o assunto, mas não finda todas as fontes de informação oferecendo amplitude e flexibilidade para lidar com o conhecimento, se diferindo da revisão sistemática por não seguir uma busca sistematizada (Canuto *et al.*, 2020). Esta revisão buscou levantar definições, parâmetros, normas, indicadores e métodos para alcançar o objetivo proposto. A busca foi realizada nas bases de dados Scopus, Scielo e Google Acadêmico, abrangendo artigos, dissertações e teses desta área.

A revisão é apresentada em quatro tópicos, o primeiro aborda sobre o consumo de energia e as pesquisas que acrescentaram a dimensão humana nessa área de estudo. O segundo tópico abrange o tema auditoria energética, definindo os parâmetros comumente estudados nesses trabalhos além de normas e métodos para este fim. O terceiro foca na qualidade do ambiente interno, buscando levantar os parâmetros, normativas, procedimentos metodológicos e instrumentos. E, por fim, o último tópico sintetiza a revisão da literatura.

2.1. CONSUMO DE ENERGIA EM EDIFICAÇÕES

O setor de construções, que inclui a energia usada para construir, aquecer, resfriar e iluminar residências e empresas, bem como os aparelhos e equipamentos instalados nelas, é responsável por mais de um terço do consumo mundial de energia e corresponde a quase 50% do consumo de energia elétrica (IEA, 2024). No Brasil, os edifícios consomem 51,8% do consumo elétrico total, e 16,9% se trata da classe de consumo de edificações comerciais (EPE, 2024). No contexto do aumento anual do consumo de energia e das mudanças climáticas, surgem as iniciativas para adoção de medidas de eficiência energética aplicadas às edificações.

O acordo de Paris, adotado na 21ª Conferência das Partes (COP21) da Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, possui como objetivo central fortalecer a resposta global às mudanças climáticas e estabelecer metas de

redução da emissão de gases de efeito estufa para os países (MCTIC, 2021). Outras ações realizadas são as normativas e certificações referentes ao desempenho energético de edificações como a Diretiva Relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios da União Europeia e a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE EDIFICA).

Considerando o atual cenário de busca pelo desenvolvimento sustentável, evidencia-se a necessidade de aprimorar a eficiência energética das edificações, uma vez que estas são responsáveis por mais de 20% do consumo total de energia e cerca de 45% da eletricidade utilizada no país (EPE, 2024). As transformações nos padrões de projeto e comportamento geralmente têm início na esfera pública, sendo posteriormente incorporadas pelo setor privado (Gnecco, 2021). Nesse contexto, as edificações educacionais se destacam por representarem uma parcela significativa das despesas públicas, ao mesmo tempo em que oferecem um grande potencial para a adoção de medidas de economia de energia (Allab *et al.*, 2017; Pereira *et al.*, 2014).

No Brasil, além da INI-C, diversas outras iniciativas têm sido implementadas para promover a eficiência energética em edificações, incluindo as de uso educacional. Outro exemplo é a resolução dos índices mínimos de eficiência energética (Resolução CGIEE Nº 4, de 26 de setembro de 2025), publicada pelo Comitê Gestor de Índices e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE), presidido pelo Ministério de Minas e Energia (MME). De acordo com essa resolução, a partir de 2027 os edifícios de órgãos públicos deverão alcançar o desempenho nível A da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), cuja escala varia de A (mais eficiente) a E (menos eficiente). No caso das esferas estaduais, distritais e municipais, a exigência de atingir o nível A será implementada de forma progressiva até 2040. Para as edificações comerciais e residenciais, estabelece-se como requisito mínimo o desempenho Nível C, o que, na prática, corresponde à comprovação do atendimento às normas vigentes da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Outra iniciativa realizada pelo CBCS foi o Projeto Cidades Eficientes, que visa implementar ações específicas para a redução do consumo de energia e água

em edifícios municipais. Florianópolis foi uma das cidades selecionadas para o projeto, e durante o diagnóstico realizado, foi identificado um grande potencial de redução no consumo de energia nas escolas, dado que elas são as unidades com maior demanda de água e energia entre as edificações públicas municipais. Em 2019, as edificações vinculadas à Secretaria Municipal da Educação (SME) consumiram 3.149 MWh, sendo que as escolas básicas representaram 1.625 MWh desse total, o que resultou em um custo de R\$1.282.708,93 naquele ano (CBCS, 2020).

No Paraná, a partir da parceria entre o Governo do Estado, por meio da Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Obras Públicas, o Serviço Social Autônomo Paranaidade, a Agência de Fomento do Paraná, do GBC Brasil (*Green Building Council*) e do Instituto PuraNã, surgiu o Programa de Edifícios Públicos *Zero Energy*. Esse projeto pretende fazer com que as edificações públicas do Estado sejam autossuficientes em energia, e a economia anual estimada para as despesas municipais será de R\$6,4 milhões (GBC, 2021). Outro exemplo é o edital de Chamada Pública lançado anualmente pela Celesc com a finalidade de selecionar e incentivar novos projetos de eficiência energética para empresas e instituições. O município de Florianópolis foi selecionado no edital da Celesc lançado em 2018, o projeto beneficiou 40 escolas entre 2020 e 2022, a partir da substituição da iluminação por soluções mais eficientes e pela instalação de painéis fotovoltaicos em 16 delas (CELESC, 2022).

Do mesmo modo, muitas pesquisas buscaram entender o consumo de energia real nas escolas com a finalidade de propor medidas de eficiência energética e caracterização do estoque construído. A revisão de Pereira *et al.* (2014) buscou em outros trabalhos o consumo de edifícios escolares, com o propósito de atingir um *benchmarking* funcional com base nas condições reais de operação dos edifícios. Nesta revisão, observou-se que estudos e publicações mundiais apresentam diferentes proporções de consumo de energia, usando diferentes unidades e mais de um tipo de uso de energia (eletricidade e gás, por exemplo), resultando em valores de difícil comparabilidade.

A unidade comumente utilizada para normalizar consumo de energia em edifícios escolares é a intensidade do uso de energia (EUI), geralmente vista em

kWh/m² e/ou kWh/aluno. O estudo de Pereira *et al.* (2014) indica que, nos Estados Unidos, o consumo de energia em escolas secundárias é cerca de 50% maior do que em escolas primárias, correspondendo a 257 e 173 kWh/m², respectivamente. No Reino Unido, observa-se uma tendência inversa, com consumo variando de 177 kWh/m² em escolas secundárias a 196 kWh/m² em escolas primárias (Pereira *et al.*, 2014). Na Inglaterra, escolas primárias consumiram menos eletricidade do que escolas secundárias, com 44 e 51 kWh/m², respectivamente. Por outro lado, não houve diferença significativa no uso de energia térmica fóssil entre os dois níveis de ensino, cujos valores medianos foram 122 e 121 kWh/m² (Hong *et al.*, 2014). Na Austrália, constataram consumo médio global de energia de 38,0 kWh/m².ano, ou 542 kWh/aluno.ano para escolas primárias (Daly *et al.*, 2022). Em Taiwan, o estudo de Wang (2019) encontra os valores de 55,8 kWh/m².ano para escolas de ensino médio, 22,5 kWh/m².ano para escolas secundárias e 20,1 kWh/m².ano para escolas primárias (Wang, 2019). As diferenças entre escolas primárias e secundárias destacam-se, principalmente, por conta dos equipamentos consumidores de energia. Em escolas secundárias, é comum encontrar laboratórios equipados, além de salas de tecnologia, enquanto em escolas primárias, esse uso é menos frequente.

Geraldi *et al.* (2020b) realizam um estudo no Brasil, considerando uma amostra de 359 escolas estaduais. O consumo global nas escolas brasileiras é elétrico e a maioria das salas de aula não possuem ar condicionado, por esse motivo, o autor constatou que o melhor indicador para a realidade brasileira é o EUI normalizado pelo número de alunos (kWh/aluno). Além de buscar dados de consumo de energia, o mesmo estudo estabeleceu uma relação entre o consumo e a satisfação ambiental interna a partir da aplicação de questionário aos gestores escolares. Assim, os autores observaram que as escolas com maiores níveis de satisfação com a temperatura apresentaram um EUI médio maior. O EUI médio das respostas “muito satisfeito” variou de 93,08 a 122,20 kWh/aluno.ano, enquanto o EUI médio das respostas “muito insatisfeito” variou de 63,18 a 72,55 kWh/aluno.ano. Ao apresentar gráficos com EUI médio/aluno.mês separando em escolas com e sem ar condicionado, observou-se que as escolas com maiores níveis de satisfação com a temperatura alcançaram essa condição de conforto devido ao uso do ar-condicionado.

Diante dos estudos apresentados, constata-se que, em países de clima mais frio, como Estados Unidos e Reino Unido, o consumo de energia é maior, principalmente em função da necessidade de aquecimento dos ambientes. Em contrapartida, países com climas mais amenos, como Austrália, Taiwan e Brasil, tendem a apresentar menores níveis de consumo energético. Esses resultados reforçam que os contextos climático e cultural exercem influência sobre os padrões de consumo de energia nas edificações escolares.

Além do clima e da envoltória do edifício, a operação, a manutenção e o comportamento dos ocupantes estão entre os seis fatores mais influentes sobre o consumo de energia (Yoshino *et al.*, 2017). Por essa razão, diversos estudos têm investigado a dimensão humana no consumo energético utilizando métodos variados. De fato, os fatores ambientais não são os únicos determinantes do uso e ajuste dos sistemas prediais. Aspectos contextuais, rotinas e hábitos dos ocupantes influenciam significativamente tanto o comportamento dos usuários quanto o consumo de energia (Stazi *et al.*, 2017).

O Anexo 53 da Agência Internacional de Energia (IEA) investigou como o comportamento dos ocupantes influencia o consumo de energia em edificações, com o objetivo de estimular o desenvolvimento de pesquisas, práticas e políticas sobre eficiência energética mais alinhadas às condições do mundo real. Esse estudo representou um avanço significativo na área; contudo, sua aplicação restringiu-se a edificações residenciais e de escritórios (Yoshino *et al.*, 2017). Outro anexo da IEA relacionado ao tema é o Anexo 66, que teve como foco a definição e simulação do comportamento dos ocupantes em edificações. (Yan *et al.*, 2017).

Dada a relevância desses dois trabalhos, em 2024 foi iniciado o Anexo 95, atualmente em desenvolvimento, que dá continuidade às discussões e amplia o escopo das pesquisas sobre o comportamento dos ocupantes. Este possui como objetivo compreender a evolução do papel dos seres humanos na transição energética para enfrentar as mudanças climáticas. O projeto é estruturado em quatro subtarefas principais, que abordam diferentes escalas e enfoques: o comportamento e o bem-estar em nível individual, a equidade e a suficiência na escala comunitária, as estratégias de (re)design e as operações e uso das edificações (IEA, 2024).

Na revisão de Bavaresco *et al.* (2020) destacaram-se oito métodos de pesquisas qualitativas utilizados para relacionar a dimensão humana aos estudos de consumo de energia: questionários, entrevistas, *brainstorming*, avaliações pós ocupação, diários pessoais, estudos de elicitación, estudos etnográficos e sonda cultural.

Yoshino *et al.* (2017), em um estudo conduzido no âmbito do Anexo 66 da IEA, coletaram dados de 13 edificações residenciais e 12 edifícios de escritórios localizados em sete países (China, França, Bélgica, Áustria, Japão e Noruega). Os resultados indicaram que fatores como a taxa de ocupação, o cronograma de operação do sistema de aquecimento e as temperaturas de setpoint provocam grandes variações no consumo energético dos edifícios. Além disso, verificou-se que os japoneses apresentam forte preferência por banhos de imersão em banheiras, enquanto os chineses optam principalmente por chuveiros, resultando em uma diferença de 7 a 9 vezes no consumo de água quente, sendo o Japão o país com o consumo mais elevado.

Outros estudos buscam identificar as motivações pelas quais os ocupantes interagem com os sistemas prediais. O trabalho de Stazi *et al.* (2017) apresenta uma revisão de pesquisas voltadas a identificação de padrões de uso de janelas, luzes, persianas, ar-condicionado, termostato, ventiladores e portas abrangendo principalmente edifícios de escritórios e casas e, em menor escala, edifícios escolares. Os resultados deste estudo, indicaram que os alunos tendem a ajustar as janelas quando entram no ambiente ou durante os intervalos. Durante o período de aula, a frequência dessas ações diminui uma vez que a concentração dos alunos é direcionada para as aulas. Também constatou-se que o uso de cortinas fechadas não depende apenas do clima, mas também de características contextuais, como exposição e orientação da edificação, sombreamento nas fachadas e a disposição do mobiliário. As principais variáveis de gatilho identificadas para esta ação foram: iluminância, radiação solar, ofuscamento, temperaturas interna e externa. Os resultados indicaram que o uso de persianas aumenta à medida que ambas as temperaturas se elevam, por exemplo. De forma semelhante às janelas, o estudo indicou que o comportamento de acionamento das luzes também é influenciado por

fatores não ambientais. As chegadas e partidas dos ocupantes são percebidos como os principais gatilhos para a operação das luminárias.

Complementando esses achados, De Giuli, Da Pos e De Carli (2012) destacam que, nas escolas, os professores desempenham um papel de gerenciadores do espaço. Quando os alunos se sentem desconfortáveis, recorrem aos professores, que assumem a iniciativa de ajustar os sistemas prediais. Essas interações entre ocupantes e sistemas prediais exercem influência sobre o consumo de energia. Nesse contexto, estudos de avaliação pós-ocupação, focados na satisfação ambiental dos usuários, tornam-se fundamentais, pois permitem compreender como o comportamento dos ocupantes impacta o desempenho energético das edificações. Tais avaliações fornecem dados que auxiliam projetistas na elaboração de edifícios mais eficientes e adequados ao comportamento dos ocupantes (D'oca *et al.*, 2018).

A avaliação pós-ocupação (APO) é uma abordagem com finalidade de obter um *feedback* sobre um edifício na fase operacional, abrangendo a avaliação de desempenho energético, qualidade do ambiente interno (QAI), satisfação dos ocupantes, produtividade, entre outros aspectos. A partir da APO, além de compreender o desempenho real do edifício, é possível explorar as relações entre o comportamento dos usuários e a operacionalização do edifício (Li; Froese; Brager, 2018).

Os métodos de APO podem incluir diversas abordagens, incluindo: avaliação de energia e água por meio de auditorias; medições físicas de energia e QAI; questionários de pesquisa de ocupantes; reuniões de grupos focais e entrevistas; registros visuais; visitas guiadas; medição técnica de estrutura, serviços e sistemas de construção; Poemas dos desejos; Desenhos; *Checklist* para “*as built*”; *Checklist* para levantamento de eventuais patologias construtivas; *Walkthroughs* conduzidos pelo pesquisador ou com pessoas-chave; Mapas de fluxos, vestígios e comportamentos; Quadro síntese e Mapas de diagnóstico e de recomendações (Ornstein *et al.*, 2016).

Em geral, métodos subjetivos como *walkthrough*, entrevistas e pesquisas são mais comumente usados porque não trazem a necessidade de equipamento associado a medições físicas, se tornando mais baratos, e podem auxiliar a

quantificar respostas subjetivas, sendo uma boa maneira de identificar problemas rapidamente (Göçer; Hua; Göçer, 2015; Li; Froese; Brager, 2018).

Um exemplo de protocolo de APO é o *Performance Measurement Protocols for Commercial Buildings* (PMP), desenvolvido em conjunto pela *American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE), *The US Green Building Council* (USGBC) e *The Chartered Institution of Building Services Engineers*, Reino Unido (CIBSE). O PMP prevê três níveis de aplicação (Análise básica, medição de diagnóstico e análise avançada) e descreve o que medir, como deve ser medido e com que frequência deve ser medido para a avaliação do desempenho de edifícios comerciais. Este protocolo considera uso de energia, uso de água e a qualidade ambiental interna (QAI): conforto térmico, qualidade do ar interno, iluminação e acústica (ASHRAE, 2010).

Apesar de existirem protocolos de APO, não há um protocolo universal, especialmente em instalações escolares (Cochran Hameen; Ken-Opurum; Son, 2020). A partir disso, muitos trabalhos desenvolveram metodologias próprias de APO. Cochran Hameen *et al.* (2020), por exemplo, conduziram uma APO em oito escolas entre 2012 e 2019, avaliaram a QAI por meio de medições (quantitativo) e também por questionários (qualitativo). Para as medições quantitativas utilizaram o sensor NEAT, que foi desenvolvido pelo *Center for Building Performance and Diagnostics* (CBPD) da Carnegie Mellon University com o apoio da US General Services Administration (GSA). A ferramenta qualitativa utilizada neste estudo foi a pesquisa de satisfação de ocupantes *Cost-effective Open Plan Environments* (COPE) surveys, desenvolvida pelo National Research Council Canada (NRC). Neste estudo além da QAI também foram avaliadas e medidas informações sobre o espaço de trabalho, como por exemplo altura das mesas.

Do mesmo modo, na Espanha, Martínez-Molina *et al.* (2017) desenvolveram uma APO de uma escola primária histórica, medindo as variáveis ambientais e aplicando questionários aos professores e alunos. Entretanto, diferente de Cochran *et al.* (2020), as medições foram realizadas durante três meses, de outubro a dezembro de 2015, e os questionários foram elaborados com base nos seis parâmetros para medir o conforto térmico descrito pela ASHRAE 55 (2023).

Entretanto, os instrumentos utilizados para medir a qualidade do ambiente interno neste estudo não foram detalhados pelos autores.

Ghita e Catalina (2015) desenvolveram um estudo em três escolas na Romênia considerando medições de energia, por meio de auditoria energética e medições de QAI (CO₂, umidade relativa e temperatura do ar). Allab *et al.* (2017) conduziram um estudo numa edificação universitária, com etapa de auditoria de energia, avaliação do conforto térmico e qualidade do ar a partir de medições e questionários. Apesar de serem estudos semelhantes, Ghita e Catalina (2015) e Allab *et al.* (2017), não utilizaram o termo “Avaliação Pós-Ocupação”.

As ações dos ocupantes em relação aos sistemas prediais exercem uma influência significativa sobre a demanda de energia dos edifícios. Nesse contexto, a inclusão da dimensão humana oferece um duplo benefício: aprimorar os resultados das simulações energéticas e fornecer suporte aos projetistas na concepção de edificações que sejam simultaneamente confortáveis e energeticamente eficientes. Com o esforço contínuo dos profissionais da área e as avaliações pós-ocupação, é possível desenvolver estruturas robustas que contribuam para a melhoria da rotulagem energética, incorporando aspectos relacionados à operação e uso efetivo dos edifícios. Além disso, ampliar o uso de métodos qualitativos nas práticas do setor de construção permite coletar conhecimento sobre fatores humanos, impulsionando o projeto e a operação de edificações centradas nos ocupantes (Stazi *et al.*, 2017). Por fim, à medida que essas abordagens se tornam mais difundidas, torna-se viável estabelecer estruturas consistentes para a condução desses estudos, consolidando práticas baseadas em evidências (Bavaresco *et al.*, 2020).

No Brasil, o trabalho de Triana *et al.* (2025) propôs metodologias para identificar oportunidades de eficiência energética em escolas públicas municipais. A primeira metodologia consistiu em uma gincana energética realizada em duas escolas do Rio de Janeiro, enquanto a segunda envolveu uma pesquisa conduzida em escolas das prefeituras do Rio de Janeiro, Florianópolis, Teresina e Palmas. Os resultados deste estudo foram relevantes não apenas por identificarem os principais equipamentos e sistemas consumidores de energia, mas também por revelarem aspectos dos hábitos de uso, como os setpoints de operação dos aparelhos de ar-condicionado, as percepções de conforto térmico dos alunos e as oportunidades

de economia de energia associadas ao desligamento das luzes em ambientes desocupados. Os resultados destacaram os principais consumidores de energia e hábitos de uso relacionados, como os setpoints dos aparelhos de ar-condicionado, a percepção de conforto térmico e o uso desnecessário da iluminação. Nas escolas do Rio de Janeiro, 90% da iluminação era composta por lâmpadas LED T8, mas 22% permaneciam acesas durante o dia sem necessidade. Também foram observadas janelas com pintura escura, reduzindo a iluminação natural e aumentando a carga térmica. Quanto ao ar-condicionado, foram encontrados diversos equipamentos ineficientes (Classes C, D ou E), com setpoints entre 17 °C e 25 °C, e recomendações incluíram a substituição por modelos mais eficientes e a adoção de sensores de presença.

Na metodologia aplicada em Florianópolis, envolvendo 77 edificações (52 creches e 25 escolas), observou-se predominância de equipamentos do tipo split, sendo 38% classificados como ENCE A e 30% com Selo Procel. Cerca de 65% das escolas operam entre 23 °C e 24 °C, conforme diretrizes internas. Embora a maioria utilize lâmpadas LED, 24 unidades ainda possuíam lâmpadas fluorescentes, e nenhuma dispunha de sistema fotovoltaico. As principais oportunidades de melhoria incluíram a substituição de equipamentos menos eficientes, a incorporação de energia solar, o uso de sensores e a adoção de rotinas de manutenção.

No Rio de Janeiro, a mesma pesquisa envolveu 1.137 escolas (74% do total) responderam à pesquisa. Observou-se que 47% dos condicionadores de ar são do tipo janela e 55% operam com setpoints abaixo de 23 °C, resultando em desconforto térmico relatado por cerca de 40% dos alunos. A iluminação é predominantemente LED (67%), e identificaram-se oportunidades para instalação de sensores em pátios, banheiros, corredores e escadarias. As escolas possuem, em média, 3,5 geladeiras ou freezers, sendo que 62% das unidades têm mais da metade desses equipamentos classificados como eficientes (Classe A ou Selo Procel).

Outra pesquisa relevante no contexto nacional é a Pesquisa de Posses e Hábitos (PPH) da Classe Comercial – Relatório Escolas (PROCEL, 2024), que apresenta dados sobre os padrões de uso de energia em instituições de ensino. O estudo indica que 58% das escolas mantêm a iluminação artificial das salas de aula sempre ligada, mesmo na presença de luz natural, e que o mesmo comportamento

ocorre em 41% das áreas de circulação. Além disso, 63% das escolas operam os sistemas de resfriamento com temperaturas de setpoint entre 18 °C e 22 °C. Em contrapartida, diferentemente do observado por Triana *et al.*, a pesquisa aponta que 87,1% das escolas adotam o hábito de desligar as luzes quando os ambientes estão desocupados.

Koivukangas (2022) realizou um estudo de caso em uma escola em São Paulo, os resultados indicam que o maior uso de eletricidade está relacionado à conservação de alimentos (49%), seguido do resfriamento e aquecimento de ambientes (conforto térmico, 28%), iluminação (12%) e tecnologias de informática e ensino (10%). Ao medir os níveis de iluminância da escola considerando a altura de 0,75 m, foi observado valores baixos para a sala dos professores, recepção e salas de aula (menor valor 54 lumens/m²), considerando a ABNT ISO/CIE 8995-1:2013. A autora também identifica baixos valores de densidade de potência instalada (DPI) nos ambientes, sendo o maior valor registrado de 4,8 kWh/m². Relata, ainda, a relação entre o pé-direito elevado e baixa iluminância que se associa à maior divergência dos feixes luminosos em relação ao plano de trabalho, comprometendo a eficiência da iluminação.

Apesar de realizarem o mapeamento de hábitos e do consumo de energia, esses estudos não contemplaram a avaliação da satisfação dos ocupantes nem da qualidade do ambiente interno. Frequentemente as pesquisas nessa área são segmentadas, abordando de forma isolada aspectos como consumo de energia, hábitos de uso ou conforto e satisfação dos ocupantes. No entanto, a integração desses fatores é determinante para compreender o desempenho real das edificações, uma vez que o comportamento e o bem-estar dos usuários influenciam o uso de energia e as condições ambientais internas. Nesse sentido, a adoção de um estudo de caso mostra-se uma abordagem adequada e gerenciável para investigar todos esses aspectos de forma integrada. As próximas subseções abordam metodologias e normas para a realização de auditoria energética e avaliação da qualidade do ambiente interno, incluindo a utilização de instrumentos qualitativos.

2.2. AUDITORIA ENERGÉTICA

As auditorias energéticas são métodos e práticas investigativas para uma análise detalhada do consumo de energia em uma edificação (Geraldi; Ghisi, 2020a). Um dos primeiros passos para avaliar as condições de consumo de energia consiste na análise das faturas de eletricidade. A partir dos dados consolidados de consumo, é possível definir indicadores que permitam avaliar o desempenho energético de forma individualizada. Entre esses indicadores, destacam-se o consumo de energia por área (kWh/m^2) e o consumo de energia por indivíduo (kWh/pessoa) presentes na edificação. Em escolas, os indicadores mais comumente utilizados são consumo de energia em kWh por aluno e kWh por metro quadrado (Carneiro *et al.*, 2020).

A abordagem *bottom-up* pode ser aplicada para o levantamento desagregado dos usos finais de energia, no qual cada equipamento e seu respectivo consumo são identificados. Esse consumo pode ser obtido por meio de medições diretas ou estimado com base nas características técnicas do equipamento e em suas horas de uso, utilizando informações da placa do fabricante, listas do Procel ou dados de pesquisas anteriores (Koivukangas, 2022).

Os principais guias para a realização das auditorias são a ASHRAE *Standard 211* (2018), as diretrizes de gerenciamento de edifícios Energy Star (2016) e ABNT NBR ISO 50002:2014 - Diagnósticos energéticos - Requisitos com orientação para uso (2014). O *Performance Measurement Protocols for Commercial Buildings* (PMP) da ASHRAE também fornece práticas específicas para medição e diagnóstico de uso de energia.

A Norma ASHRAE 211 (2018) fornece uma descrição detalhada dos procedimentos para caracterizar o uso de energia em uma edificação. Segundo o documento, existem três níveis diferentes de auditoria, que variam de acordo com o objetivo do auditor. De acordo com a ASHRAE 211, as auditorias energéticas são classificadas em três níveis. O Nível 1 consiste em investigações preliminares, realizadas por meio de visitas observacionais, análise do histórico de consumo energético, compreensão geral da operação do edifício e identificação inicial de

estratégias de eficiência energética, podendo incluir estimativas econômicas simplificadas. O Nível 2, além das etapas do Nível 1, envolve uma análise mais detalhada do funcionamento da edificação, incluindo definição de agendas operacionais, padrões de uso de equipamentos e iluminação, avaliação da eficiência dos sistemas instalados, análise do comportamento do consumo em períodos ocupados e desocupados, estudos dos usos finais de energia e, opcionalmente, simulações computacionais, resultando em uma lista estruturada de oportunidades de eficiência energética com análise econômica preliminar mais consistente. O Nível 3, denominado auditoria de grau de investimento (*investment-grade audit*), incorpora os níveis anteriores e adiciona análises técnicas e econômicas completas, com detalhamento de custos, estimativa de economias, indicadores financeiros e suporte para a tomada de decisão definitiva quanto à implementação das ações de eficiência energética, sendo as simulações computacionais frequentemente empregadas para garantir a robustez das projeções. Além disso, a ASHRAE 211 (2018) prevê como passo inicial da auditoria energética o *benchmarking* da edificação. Essa prática permite a comparação do consumo de energia de uma edificação com edificações do mesmo tipo e em contextos climáticos parecidos.

No contexto brasileiro, a principal ferramenta de *benchmarking* energético é a plataforma Desempenho Energético Operacional em Edificações (DEO), desenvolvida pelo Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) em parceria com o PROCEL, que classifica edificações não residenciais como “eficientes”, “típicas” ou “ineficientes” com base na inserção de informações sobre as características do edifício e dados de consumo (kWh). Esse sistema de *benchmarking* não considera, para a tipologia educacional, as cargas de cozinha e laboratórios (CBCS, 2021). A plataforma que apresenta os resultados do Projeto Cidades Eficientes realizado na cidade de Florianópolis também apresenta o *benchmarking* energético das edificações públicas municipais, comparando o consumo de uma edificação selecionada com as outras da mesma tipologia.

Outra norma para auditoria energética é a ABNT NBR ISO 50002:2014 - Diagnósticos energéticos - Requisitos com orientação para uso (2014). Trata-se de uma norma brasileira que tem como propósito definir o conjunto mínimo de requisitos para a identificação de melhorias do desempenho energético, sendo

aplicável a todos os tipos de estabelecimentos e organizações. Essa norma divide o processo do diagnóstico energético em 7 etapas, sendo elas: (a) planejamento do diagnóstico energético, (b) reunião de abertura e coleta de dados, (c) plano de medições, (d) condução da visita ao local, (e) análise, (f) relatório do diagnóstico energético e (g) reunião de encerramento. A análise do desempenho energético deve incluir o detalhamento do consumo por uso final e por fonte, a identificação dos usos que representam parcelas substanciais do consumo e, quando possível, a comparação com valores de referência provenientes de auditorias anteriores. Deve também contemplar a avaliação do histórico de desempenho energético, a apresentação das melhorias esperadas, a análise da relação entre o desempenho energético e variáveis relevantes e, por fim, a avaliação dos indicadores de desempenho energético.

Muitos trabalhos executaram auditorias energéticas, possuindo diferentes propósitos. No estudo de Allab *et al.* (2017), foi realizada uma auditoria energética em dois níveis: global e local. No nível global, analisa-se o consumo total do edifício com base em contas e medições. Já no nível local, foi selecionada uma amostra representativa do edifício para ser equipada com instrumentos de medição das variáveis ambientais. Os consumos anuais de energia (eletricidade e gás) foram coletados de 2013 a 2015, dividindo a auditoria em subtarefas, sendo elas: Inspeção e coleta de informações do edifício (1) e Diagnóstico, sistemas e fornecimento de energia (2). Posteriormente, em nível local foi escolhido um escritório para medição de taxa de ventilação e as variáveis ambientais (temperatura, umidade relativa e CO₂). Com base nas auditorias, foi desenvolvido um modelo de simulação de energia para a amostra representativa do campus, o qual foi validado a partir das medições realizadas. Ainda nesse estudo, a partir dos dados coletados e da análise da qualidade do ar interior (QAI), tanto quantitativa quanto subjetiva, foram formuladas e simuladas opções de medidas de eficiência energética. O modelo foi utilizado para quantificar o impacto de cada cenário no consumo e nos custos de energia, em comparação com a configuração atual. As disposições consideradas foram: (1) utilização de uma curva de aquecimento mais baixa que a atual; (2) otimização do agendamento do sistema de ventilação, de modo que a duração total de funcionamento seja reduzida, enquanto a temperatura de ajuste seja atingida

sempre às 8h; (3) implementação de um sistema de controle no piso aquecido, considerando a temperatura interna como feedback para atingir a temperatura de ajuste; (4) além de uma curva de aquecimento mais baixa, foi considerado um isolamento adicional no envelope (uma camada de lã de rocha de 7 mm de espessura); (5) um sistema de controle do piso aquecido combinado com uma curva de aquecimento mais baixa. Observou-se que poderia ser alcançada uma diminuição de até 16% no consumo, a partir da combinação de um sistema de controle de temperatura ambiente aplicado ao piso aquecido e a redução da escala da curva de aquecimento.

Do mesmo modo, Merabtine *et al.* (2018) realizaram um estudo em um edifício educacional de dois andares ao longo de três anos (2015 a 2017), e combinou dados de auditoria energética e QAI. A metodologia deste trabalho foi conduzida em três etapas, considerando desde a coleta de informações até a proposição de soluções. Inicialmente, as auditorias energéticas tiveram início com uma vistoria no edifício. Com base em dados técnicos obtidos pela observação, foi realizada uma análise do consumo real dos sistemas de energia do edifício, obtida por meio do *Building Management System* (BMS), que é um sistema de gestão predial. Além do diagnóstico, desenvolveram um modelo de simulação em linguagem Modelica. Apesar de realizarem uma auditoria energética, não utilizaram a simulação para prever resultados de medidas de eficiência energética, mas sim para comparar o PMV (*Predicted Mean Vote*, voto predito médio) e o PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*, porcentagem predita de insatisfação) com os índices calculados usando os dados medidos.

Al Rashdi *et al.* (2022) realizaram uma auditoria energética em um campus universitário em Omã. A metodologia proposta incluiu visitas de campo aos prédios da faculdade buscando informações sobre equipamentos que consomem energia, marcas, modelos, iluminação, as horas de operação e as características construtivas dos prédios (documentos arquitetônicos, materiais de piso, cobertura, parede e esquadrias). Além disso, o comportamento dos funcionários, alunos e administradores também foi observado. A auditoria revelou que o principal consumo de energia referia-se à iluminação e ao resfriamento. O consumo anual de energia dos edifícios foi simulado usando os programas DesignBuilder e *EnergyPlus* e a

validação dos resultados da simulação foi realizada usando registros mensais de faturamento de consumo de eletricidade. As medidas de eficiência energética propostas para gerenciar o consumo de energia foram substituir as lâmpadas fluorescentes tradicionais por lâmpadas de LED e instalar películas solares de janela que são capazes de controlar o calor solar. Os resultados da simulação das duas estratégias mostraram reduções de 16% e 7,6%, respectivamente, no consumo de energia. Por fim, uma análise de custo das descobertas foi realizada e mostrou um período de retorno de menos de 2,5 anos para as duas propostas.

Em Portugal, Lourenço, Pinheiro e Heitor (2014) investigaram os padrões de consumo de energia em oito escolas secundárias, adotando uma abordagem metodológica que combinava análise quantitativa e qualitativa de dados. O estudo revelou a relação entre o consumo de energia nas escolas, o comportamento dos usuários e as estratégias de gestão. Os dados sobre consumo de energia (eletricidade e gás) foram coletados ao longo de cinco anos consecutivos (2008 a 2012), considerando que, em 2009, sete das oito escolas passaram por reformas. Além disso, foram realizadas visitas guiadas e entrevistas semiestruturadas nas oito escolas, em duas estações do ano: inverno e final da primavera. As entrevistas foram conduzidas com os diretores das escolas, a equipe operacional e os líderes das equipes de design, e abordaram quatro tópicos principais: (1) dados da escola e informações gerais, (2) dados de energia e água, uso e gestão na escola, (3) impacto do processo de modernização na escola e (4) conscientização e envolvimento da escola em questões e projetos de sustentabilidade ambiental. A auditoria revelou que o consumo de energia aumentou mais de 218% entre 2008 e 2012. Em 2012, o consumo médio de energia primária nas escolas foi de 67 kWh/m², dos quais 16 kWh/m² estavam relacionados ao uso de gás e 51 kWh/m² ao uso de eletricidade. O principal uso do gás nas escolas é para o aquecimento de água, sendo que apenas três escolas utilizam gás para o aquecimento de ambientes. Por outro lado, quatro escolas utilizam eletricidade para esse fim, e todas as escolas empregam eletricidade para a refrigeração e ventilação dos ambientes. Também foi relatado que, em algumas escolas, surgiram conflitos de uso após uma reforma, principalmente no que diz respeito à gestão das condições de conforto. Embora os diretores compartilhassem o objetivo comum de equilibrar os custos de

energia com as condições de conforto, apenas em alguns casos eles afirmaram que esse equilíbrio foi realizado. Em alguns casos, as fachadas perderam usabilidade após a reforma devido à introdução de áreas envidraçadas seladas, para o foco nos sistemas HVAC. Na análise pós-reforma, os autores perceberam que os edifícios com menor usabilidade e operabilidade das superfícies das fachadas geraram insatisfação entre os usuários e resultaram em um aumento no consumo de energia para resfriamento na estação quente. Por fim, o estudo concluiu que as abordagens integradas para analisar o uso de energia em edifícios podem gerar boas análises, pois conectam os usuários às suas ações, as quais provocam reações que, por sua vez, resultam em consequências e impactos no consumo de energia.

De modo semelhante, FERREIRA (2025) destaca que “o comportamento dos ocupantes de uma edificação exerce um impacto direto sobre o consumo de energia elétrica e, conseqüentemente, sobre o desempenho energético do edifício”. Dessa forma, torna-se essencial mapear o comportamento dos usuários, tanto para compreender seu efeito sobre o consumo de energia quanto para reduzir as incertezas associadas aos modelos de simulação energética.

A ASHRAE Standard 90.1 (2016) estabelece valores de referência e critérios de desempenho baseados em categorias específicas de edificações, incluindo horários de operação, densidade de potência de iluminação, taxas de ventilação, ocupação e cargas internas típicas, que variam conforme o tipo de atividade. De forma semelhante, a INI-C também apresenta parâmetros padronizados. No entanto, o comportamento real dos ocupantes pode ser significativamente mais complexo do que o previsto nestas normas, como demonstrado nos estudos de Triana *et al.* (2025) e no PPH (PROCEL, 2024).

A incorporação de evidências provenientes de estudos como este, aliada à compreensão do comportamento dos ocupantes e de sua satisfação ambiental em nível local, pode contribuir para aprimorar os padrões normativos, estabelecer valores mais representativos e reduzir o “performance gap”, além de apoiar futuras revisões das normas relacionadas à qualidade do ambiente interno.

2.3. QUALIDADE DO AMBIENTE INTERNO

A Qualidade do Ambiente interno (QAI) aborda as condições térmicas, qualidade do ar, iluminação e acústica (Ghita e Catalina, 2015). Quanto à percepção do aluno sobre os aspectos do ambiente Tran *et al.*, (2023) evidenciaram que o conforto térmico é o domínio que demonstra mais desconforto, seguido da poluição sonora e movimento do ar, e o conforto visual aparece com maior satisfação. Embora seja relevante uma análise abrangente de todos os domínios da Qualidade do Ambiente Interno (QAI), a maioria dos estudos concentra-se em domínios específicos. Os domínios mais frequentemente investigados nas escolas são o ambiente térmico e a qualidade do ar interno (Tran *et al.*, 2023). Nos estudos que associam QAI e consumo de energia, os principais enfoques também são nesses dois domínios, devido a conexão entre o conforto térmico e a qualidade do ar, com as práticas de uso e consumo de energia, embora em alguns estudos sejam abordados os outros domínios por meio da avaliação subjetiva (questionário).

2.3.1. Conforto térmico

Segundo a ASHRAE 55 (2023): “Conforto térmico é o estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente térmico”. Os principais parâmetros que influenciam nas condições térmicas de conforto são os fatores pessoais, que são as roupas e a atividade metabólica, e os parâmetros ambientais, que são a temperatura do ar (T_{ar}), temperatura radiante média (T_{rm}), umidade relativa do ar (UR) e velocidade do ar (v_{ar}) (ASHRAE 55, 2023; EN 16798-1, 2019).

As principais normas para conforto térmico são a Norma ASHRAE 55, a ISO 7730 e BS EN 16798-1:2019. Sendo que a última, traz métricas para outros domínios da QAI, abordando também a qualidade do ar, iluminação e acústica. No Brasil, a norma em vigor para avaliação do conforto térmico é a NBR 16401-2 que se baseia no método de avaliação da ASHRAE 55 e utiliza os modelos de conforto analítico (FANGER, 1970) e adaptativo (De Dear e Brager, 1998).

O modelo de Fanger é um dos mais reconhecidos na literatura para estimar conforto térmico. Trata-se de uma equação que combina os principais parâmetros que influenciam o conforto térmico: temperatura do ar, velocidade do ar, umidade e temperatura radiante média (parâmetros ambientais), nível de isolamento e taxa metabólica (parâmetros pessoais). Os indicadores propostos no modelo são o Voto Médio Estimado (PMV) que prevê a sensação térmica média de um grupo de pessoas, de acordo com uma escala de 7 pontos (ISO 7730, 2005), e a porcentagem de Pessoas Insatisfeitas (PPD), que por sua vez, é um índice que se relaciona com o PMV. O Modelo de Fanger é restrito para ambientes com condicionamento de ar controlado.

O modelo adaptativo (De Dear e Brager, 1998) entende que o usuário pode interagir com o ambiente que o circunda, realizando adaptações como alterar sua vestimenta, adicionando ou diminuindo a quantidade de roupa e abrir ou fechar as janelas. Ou seja, é o modelo mais apropriado para ambientes com ventilação natural. Para a avaliação do conforto ambiental, calcula-se a faixa de temperatura operativa aceitável com base no modelo adaptativo, que utiliza a temperatura externa média dos sete dias anteriores ao momento da medição para determinar os limites superior e inferior de conforto. A temperatura operativa interna é obtida a partir das variáveis medidas no ambiente. Além disso, a norma também reconhece que maiores velocidades do ar podem ampliar o limite superior de aceitabilidade térmica, desde que respeitados os limites de velocidade para evitar desconforto local.

As normas estabelecem os métodos de medição. De acordo com a ASHRAE 55 (2023), as variáveis ambientais devem ser monitoradas por, no mínimo, duas horas, de forma a refletir as horas de ocupação ou os períodos definidos como críticos para a ocupação prevista. Além disso, a opinião dos ocupantes do espaço medido pode ser expressa através de votos de escala de sensação térmica (TSV) (ASHRAE 55, 2023). As medições de temperatura e velocidade do ar devem ser realizadas em alturas de 0,1m, 0,6m e 1,1m em ambientes onde as atividades são predominantemente realizadas sentadas (ASHRAE 55, 2023). Também são previstos intervalos mínimos de medição de cinco minutos para T_{ar} , T_{rm} e UR, e de três minutos para Var. Apesar disso, Tran *et al.* (2023) observaram que o período de

medição em estudos de avaliação de conforto térmico pode variar de acordo com a aplicação. Em salas de aula, por exemplo, esse período pode variar entre 30 minutos e três meses. A quantidade de salas de aula avaliadas também varia de acordo com o estudo, sendo que a maioria apresentou uma amostra pequena (Tran *et al.*, 2023).

O estudo de Allab *et al* (2017) utilizou os parâmetros da norma EN-16798 para avaliação de conforto térmico em um Campus universitário na França. Os autores realizaram três levantamentos em períodos distintos para avaliar o conforto térmico, com periodicidade de dois dias em fevereiro, nove dias em abril e treze dias em julho. Além disso, os questionários foram aplicados simultaneamente, incluindo também uma análise das práticas de uso. Com base nos resultados, foi relatado que o edifício apresenta desconforto térmico significativo nas três estações avaliadas (inverno, primavera, verão).

Ahmed *et al.* (2022) conduziram estudo em seis creches e edifícios educacionais na Finlândia, também utilizando a norma EN-16798. Executaram medições em pelo menos três salas de cada edifício (temperatura interna, concentração de CO₂, umidade relativa, taxa de fluxo de ar e temperatura). Essas medições foram feitas na sala sul considerando problemas de sobreaquecimento durante os meses de verão. O período de medição foi de, no mínimo, quatro semanas, tanto no inverno quanto no verão. Os resultados revelaram que as salas estavam sobreaquecidas durante o período de aquecimento, com temperaturas variando de 24 a 25 °C.

Ghita e Catalina (2015) conduziram um estudo em três escolas Romenas, as medições no local foram realizadas considerando a norma ISO 7726, que estabelece métodos de medição, métodos para interpretação dos parâmetros e especificação de valores ou limites de exposição recomendados para ambientes térmicos dentro da faixa de conforto. Os instrumentos de medição foram instalados em várias salas de aula das três edificações e registraram CO₂, umidade relativa e temperatura do ar. As medições aconteceram no intervalo de setembro de 2013 a março de 2014, nos períodos de outono, inverno e início da primavera, concentrando-se principalmente no período de inverno, quando havia os registros de maior consumo de energia. Os resultados demonstraram que a partir do cálculo dos índices de

conforto das duas escolas estudadas só alcançariam o conforto térmico ideal durante temperaturas do ar externo relativamente altas no inverno (em torno de 10 °C), enquanto durante temperaturas mais baixas (em torno de 0 °C) o conforto térmico não é mais atendido. Entretanto, as crianças das escolas reformadas e novas declararam nos questionários que, em geral, o ambiente interno durante o inverno é neutro ou quente (mais de 90%).

Embora muitos trabalhos desenvolvidos sobre QAI em escolas tenham utilizado as normas internacionais para avaliação do conforto térmico, outros argumentam que o modelo de Fanger e o modelo adaptativo são imprecisos quando aplicado em ambientes de salas de aula e com crianças (Martinez-Molina *et al.*, 2017; Teli; Jentsch; James, 2012). Ter Mors *et al.* (2011), por exemplo, concluíram que o método PMV subestima a sensação térmica de crianças, com maior erro no verão. Segundo os autores, o PMV não é indicado para uso em salas de aula, e sua versão ajustada pelo metabolismo e área de superfície melhora os resultados, mas ainda não fornece previsões precisas.

2.3.2. Qualidade do ar interior

Para a avaliação da QAI também é preciso pensar em questões de qualidade do ar interior, que é determinada a partir da concentração de poluentes de origem externa ou interna. Para edifícios educacionais, é importante manter um valor controlado de concentração de CO₂, não somente pelos problemas de saúde e segurança que isso pode causar, mas também, para questões relacionadas à aprendizagem (Franco e Leccese, 2020).

Os poluentes medidos nos estudos sobre QAI são: dióxido de carbono (CO₂), diferentes parâmetros de ventilação, formaldeído e outros aldeídos, compostos orgânicos voláteis (VOC), compostos orgânicos semivoláteis (SVOC), material particulado, dióxido de nitrogênio, biocontaminantes e radônio. A partir da dificuldade de medir as concentrações de todos os poluentes de um edifício, a taxa de ventilação e a concentração de CO₂ são comumente usados para avaliar a qualidade do ar. Sendo o CO₂ um indicador da eficácia da ventilação em um edifício

ocupado (Tran *et al.*, 2023; Wei *et al.*, 2020). As principais normas relacionadas à qualidade do ar interior são a EN 16798-1:2019 e as normas brasileiras NBR 16401-3:2024 - Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários - Parte 3: Qualidade do ar interior e NBR 17037:2023- Qualidade do ar interior em ambientes não residenciais climatizados artificialmente - Padrões referenciais. Estas normas estabelecem os limites de concentração de CO₂, com base na comparação entre os valores de CO₂ medidos internamente e os limites definidos em relação aos níveis externos. Na literatura, é visto que um nível de 600–1000 ppm é considerado ótimo em escritórios e edifícios educacionais e que a concentração acima de 1000 ppm é considerada ruim (Franco e Leccese, 2020).

A ventilação natural é a principal abordagem para melhorar a qualidade do ar interno nas edificações escolares, por esse motivo, as concentrações de CO₂ são altas na maioria dos ambientes escolares (Sadrizadeh *et al.*, 2022). Na Romênia foi registrado uma média de 2360 ppm, 2270 ppm e 1630 ppm em 3 salas de aula diferentes (Ghita e Catalina, 2015). Na França foi relatada a média de 1278 ppm (Allab *et al.*, 2017). Na Itália, valores como 3635 ppm e 2553 ppm foram encontrados (De Giuli; Da Pos; De Carli, 2012).

Syndicus *et al.* (2023) investigaram a qualidade do ar interno e as posições dos sensores em três salas de aula na Alemanha. Como resultado, relataram que as concentrações médias de CO₂ estavam abaixo do valor limite recomendado de 1.000 ppm. Além das medições, foram realizados questionários para coletar dados sobre o tipo de aula (disciplina), a quantidade de alunos e eventos que poderiam influenciar a situação da qualidade do ar, como por exemplo, barulhos do pátio da escola que impediam a abertura das janelas. Ao analisar e comparar os sensores existentes com os novos instalados adicionalmente, concluíram que apenas uma posição de medição em uma sala de aula pode servir como um indicador representativo para a concentração de CO₂ em toda a sala. As salas de aula neste estudo tinham espaços de até 61 m², e de acordo com as descobertas obtidas, violações do limite de 50 m² para posições de medição únicas (ISO 16000-26) em até 20% não comprometem significativamente os resultados. Outro resultado interessante relatado é que a instalação de um sistema de ventilação de exaustão

pode auxiliar a ventilação natural, servindo como medida de suporte e auxiliando na diminuição da concentração de CO₂.

2.3.3. Ambiente visual

O ambiente visual, composto por luz natural e artificial, é regulamentado pelas normas BS EN 16798-1:2019 e NBR ISO/CIE 8995-1:2013. De acordo com a ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, a iluminância recomendada para salas de aula em escolas primárias e secundárias é de 300 lux e de 500 lux para salas de educação adulta e noturna, enquanto a BS EN 16798-1:2019 indica 500 lux. A maior parte dos estudos relacionados ao ambiente visual nas salas de aula, executaram medições pontuais, utilizando medidor de iluminância na mesa dos estudantes (Tran *et al.*, 2023).

No estudo de Ghita e Catalina (2015) as condições visuais foram consideradas aceitáveis em duas das três escolas estudadas, apresentando 281 lux e 213 lux. Também encontraram o valor de 43 lux para outra escola, que é um valor extremamente baixo, e perceberam que as crianças podem se adaptar muito bem ao seu ambiente, já que a maioria declarou no questionário que os níveis de iluminância eram adequados. Os equipamentos de medição foram posicionados nos bancos das crianças para o experimento. Os autores estabeleceram uma relação com o consumo de energia e apontaram que embora o consumo de energia elétrica seja relativamente baixo, o conforto visual é muito ruim no edifício, demonstrando que uma escola aparentemente "eficiente em termos de energia" pode deixar de fornecer o conforto necessário aos ocupantes.

Ahmed *et al.* (2022) encontraram problemas de ofuscamento e salas de aula pequenas superlotadas, relatados por meio da avaliação subjetiva dos espaços (questionário). Do mesmo modo, a partir da aplicação de questionário Dascalaki *et al.* (2011) indicaram que os alunos relataram condições problemáticas de conforto visual (18%) na escola nº 9 estudada.

2.3.4. Ambiente acústico

Outro aspecto importante para a avaliação da qualidade do ambiente interno é o domínio acústico. A poluição sonora em salas de aula provém de duas fontes principais, ruídos provenientes de fontes mecânicas e sons internos, da interação entre os próprios alunos (Norazman *et al.*, 2021). O excesso de ruído ou reverberação pode resultar em uma maior perda de palavras durante as instruções em sala de aula dificultando o processo de ensino-aprendizagem, podendo causar um prejuízo no desempenho acadêmico dos alunos e danos fisiológicos aos professores relacionados ao estresse (Cochran Hameen *et al.*, 2020). O nível de ruído de fundo é o parâmetro acústico mais frequentemente medido em escolas para a avaliação do ambiente acústico e pode ser visto em nível de pressão sonora (NPS) ou nível de pressão sonora equivalente (LAq) (Tran *et al.*, 2023). A EN 16798-1:2019 apresenta limites de LAq para sistemas internos de acordo com a tipologia do edifício e espaço avaliado e a ABNT NBR 10152:2017 estabelece os procedimentos técnicos a serem adotados na execução de medições de níveis de pressão sonora em ambientes internos. Do mesmo modo, uma ferramenta de avaliação bastante usada para avaliação do domínio acústico em escolas é o questionário (De Giull; Da Pos; De Carli, 2012; Ghita e Catalina, 2015; Mydlarz *et al.*, 2013) que apresenta a percepção dos usuários.

2.3.5. Questionário de satisfação dos ocupantes

Devido ao fato de que a medição da qualidade do ambiente interno pode ser onerosa e complexa, tanto pela necessidade de equipamentos devidamente calibrados quanto pela exigência de profissionais qualificados, as pesquisas de satisfação dos ocupantes tornam-se uma ferramenta fundamental para a avaliação da qualidade ambiental interna e do nível de satisfação dos usuários. Além disso, elas podem ser empregadas para incorporar a dimensão humana na avaliação do consumo de energia, uma vez que os ocupantes são capazes de fornecer feedbacks precisos sobre as condições reais de uso e operação dos ambientes.

A revisão de Bavaresco *et al.* (2020) identificou três principais tipos de questionários utilizados para avaliar a dimensão humana do uso de energia em edifícios: “aqui e agora”, transversais e longitudinais. Os questionários “aqui e agora” são aplicados no momento em que o participante expressa suas percepções ou comportamentos, geralmente de forma simultânea às medições físicas de qualidade do ambiente interno (QAI). Os questionários transversais envolvem a coleta de dados de uma amostra de indivíduos em um único ponto no tempo, que pode corresponder a um período específico (por exemplo, uma estação do ano ou alguns meses), com o objetivo de identificar padrões e tendências no comportamento dos ocupantes. Essa abordagem é amplamente utilizada em estudos sobre consumo de energia em edifícios. Por sua vez, os questionários longitudinais são aplicados em diferentes momentos, permitindo acompanhar mudanças nas percepções ou comportamentos ao longo do tempo. Tanto os questionários “aqui e agora” quanto os transversais podem, inclusive, ser combinados para compor um desenho de pesquisa longitudinal (Bavaresco *et al.*, 2020).

Internacionalmente, os Instrumentos de pesquisa de satisfação do ocupante mais utilizados são o *Building Use Studies* (BUS), o *CBE Occupant Survey*, o *Building Occupants Survey System Australia* (BOSSA) e o *Sustainable and Healthy Environments* (SHE), os quais são aceitos como parte da pontuação de algumas certificações de sustentabilidade como LEED O+M (*Existing Buildings: Operations & Maintenance*), o *Breeam (In-use)* e *Well*.

A pesquisa BUS foi desenvolvida na década de 1990, quando foi usada nos estudos de avaliação de desempenho de edifícios denominado *Post-Occupancy Review of Building Engineering* (PROBE) financiados pelo governo do Reino Unido (BUS, 2017). O questionário transversal pode ser aplicado para edificações residenciais e não residenciais, e busca opiniões sobre aspectos como: conforto térmico e ventilação, iluminação e ruído, controle pessoal, espaço, design e imagem.

A ferramenta *CBE Occupant Survey*, desenvolvida no ano 2000 pelo CBE (*Center for the Built Environment*), é outro instrumento para pesquisa de satisfação do ocupante transversal. Esta pesquisa possui 10 seções. A primeira seção aborda os dados demográficos dos ocupantes (idade, gênero, tipo de trabalho) e experiências gerais com seu ambiente (horas trabalhadas por semana). As demais

seções visam as percepções dos ocupantes sobre o ambiente interno, incluindo satisfação com o leiaute do escritório, mobiliário, conforto térmico, qualidade do ar interno, iluminação, acústica, limpeza e manutenção. Uma análise de 20 anos de respostas coletadas pelo CBE survey indicaram que a qualidade acústica tem o maior impacto negativo na produtividade relatada pelos ocupantes (39% insatisfeitos), seguida pela temperatura (35%) (Graham et al, 2020).

Do mesmo modo, o instrumento de pesquisa BOSSA aborda dimensões gerais da QAI, como: qualidade do ar interior e circulação do ar, conforto espacial, distração sonora e privacidade, conexão com o ambiente externo, imagem e manutenção do edifício, espaço individual, conforto térmico, conforto visual, produtividade percebida. O sistema foi desenvolvido em 2011 pela Universidade de Sydney e a Universidade de Tecnologia de Sydney, financiado pelo Conselho Australiano de Pesquisa e parceiros da indústria. O BOSSA possui 3 instrumentos de pesquisa, sendo o Bossa *Snap-shot* (questionário “aqui e agora”), o bossa *time-lapse* (questionário transversal) e o Bossa Nova (estação de medição de QAI) (“BOSSA”, [s.d.]).

O *SHE Survey* foi desenvolvido pela Universidade de Melbourne é uma ferramenta que coleta dados sobre o desempenho dos espaços pela perspectiva dos ocupantes, as variáveis pesquisadas são relacionadas a fatores humanos, organizacionais e ambientais. A ferramenta pode ser utilizada para a avaliação de locais de trabalho, escolas e distritos (Wright, 2020).

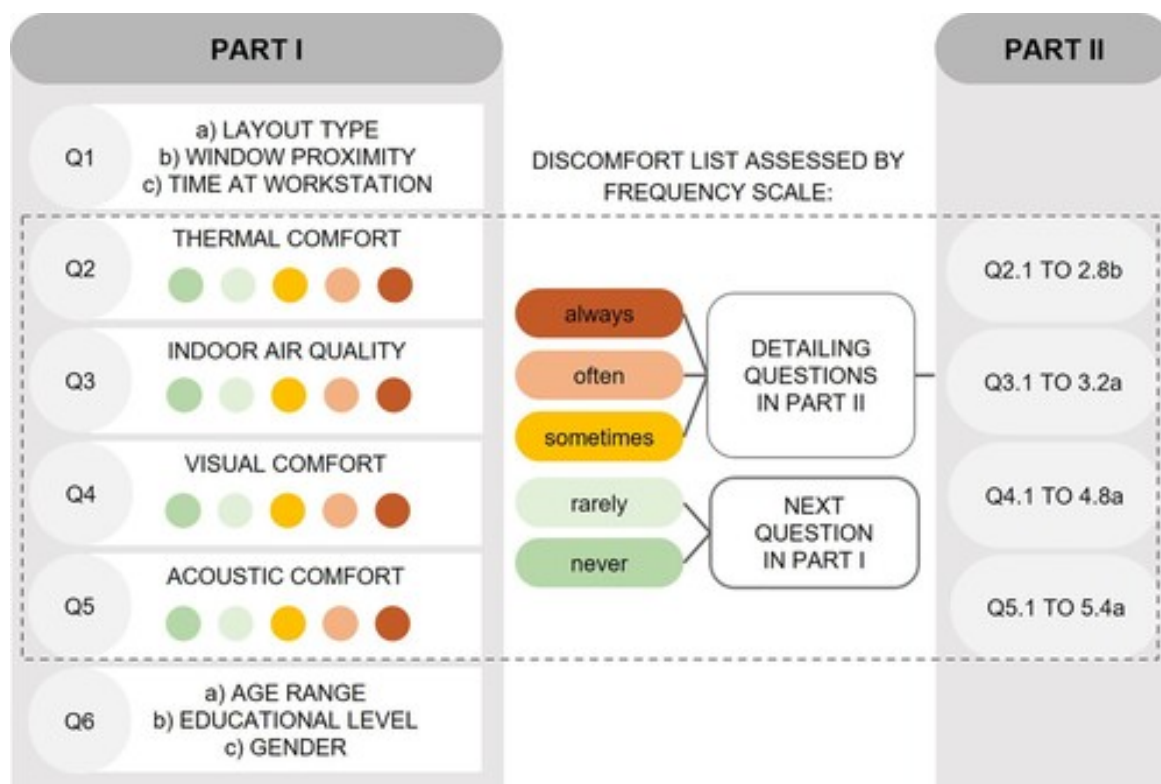
Nacionalmente, foi proposto por Castro *et al.* (2025) como instrumento de pesquisa de satisfação dos ocupantes o *Open-access Occupant Survey system* (OSS) para edifícios de escritório. As principais pesquisas utilizadas como referência são a BUS, CBE, BOSSA e *SHE Survey*. O questionário proposto possui 64 questões em estrutura de ramificação divididas em 6 tópicos: (Q1) aborda o tipo de leiaute, proximidade das janelas e tempo no posto de trabalho, (Q2) Conforto Térmico, (Q3) Qualidade do ar interno, (Q4) Conforto Visual, (Q5) Conforto Acústico e (Q6) Informações sobre o respondente para a caracterização da amostra (faixa etária, escolaridade e gênero).

Para a estrutura de ramificação, o OSS é dividido em duas partes (I e II). A parte I é obrigatória e aborda, em escala Likert de 5 pontos, seis perguntas que

visam identificar fontes de insatisfação com a QAI por meio das listas de desconforto (Q2 a Q5), caracterizando o ambiente de trabalho (Q1) e a amostra da pesquisa (Q6). A Parte II se refere às perguntas ramificadas, abordando perguntas aprofundadas quando for relatado desconforto em algum domínio na parte I. Conforme ilustrado na Figura 1, na qual a Parte II foi acionada para os domínios visual e acústico. Por outro lado, se um participante raramente ou nunca sente desconforto por todas as causas listadas, ele ignora as questões da Parte II.

Na Parte II, a satisfação com questões específicas do domínio QAI também é avaliada. Pontuações baixas (1 ou 2) desencadeiam um acompanhamento sobre as causas de desconforto, enquanto pontuações altas (3 a 5) ignoram o acompanhamento. O acompanhamento inclui uma pergunta em formato de caixa de seleção, na qual os participantes podem selecionar vários itens da lista de desconforto e adicionar comentários específicos por meio de uma opção aberta. Essa abordagem permite que os participantes reiterem suas fontes de desconforto e forneçam *insights* adicionais.

Figura 1 - Estrutura do instrumento de pesquisa OSS



Fonte: Adaptado de Castro *et al* (2025).

Geralmente as medições de QAI são combinadas com questionários de satisfação do usuário, buscando dados quantitativos e qualitativos. Os questionários são uma ferramenta válida e eficaz para obter uma avaliação do QAI (Dykes; Baird, 2013) e podem incluir perguntas sobre os hábitos e a frequência de alguns usos relacionados à energia, como abrir e fechar a janela e a porta (Allab *et al.*, 2017).

A maioria dos estudos em edificações educacionais aplicam questionários para os professores, alunos e funcionários. Entretanto, alguns realizaram a aplicação da ferramenta considerando respostas de uma pessoa-chave (diretores e professores) e demonstraram que as respostas foram representativas (Baker, 2011; Geraldi; Ghisi, 2020b). Os professores provaram ser respondentes muito completos e representativos, visto que, a profissão exige um elevado nível de atenção às necessidades e ao conforto dos alunos (Baker, 2011). Além disso, o estudo de De Giuli; Da Pos; De Carli (2012), buscou entender o comportamento das crianças ao sentir desconforto e relatou que os alunos são usuários passivos e as alterações no ambiente são feitas pelo docente. Desse modo, o questionário aplicado à pessoa-chave demonstra ser uma boa ferramenta para entender a QAI e o comportamento dos ocupantes que são atribuídos ao consumo de energia.

2.4. MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Além das medidas de eficiência energética apresentadas no subcapítulo de auditoria energética, outros autores também destacam as estratégias mais relevantes. Soares *et al.* (2021) realizaram uma revisão de literatura e identificaram dois grupos principais de medidas de eficiência energética: passivas e ativas. As medidas passivas referem-se a estratégias de arquitetura bioclimática, como isolamento térmico da envoltória, dispositivos de sombreamento, janelas de alto desempenho, aplicação de tintas refletivas nas fachadas e uso da ventilação natural. As medidas ativas, por sua vez, envolvem sistemas e tecnologias de controle e automação, incluindo programadores de horário, temporizadores, sensores de presença, dimerização de luminárias LED, sistemas de gestão predial (BMS), aquecimento solar e instalação de sistemas fotovoltaicos.

De forma semelhante, Vieira (2019) classifica como tecnologias passivas o aprimoramento da iluminação natural, o uso de dispositivos de sombreamento, a adoção de vidros de alto desempenho e o ajuste do percentual de abertura das fachadas. Como tecnologias ativas, o autor destaca a substituição de lâmpadas convencionais por LEDs e a seleção adequada de equipamentos de refrigeração. Já as tecnologias consideradas proativas incluem aquecedores solares de água, painéis fotovoltaicos e turbinas eólicas de pequeno porte. Em seu estudo de caso, o autor aplicou medidas como a substituição de lâmpadas fluorescentes por LEDs, a reorganização dos circuitos de iluminação, o acionamento independente dos sistemas de iluminação, o uso de sensores de presença em áreas de permanência temporária, além da adoção de brises e de telhas de alumínio pintadas de branco.

No mesmo sentido, Veras (2010), em um estudo realizado em uma escola, propôs ações como a substituição de lâmpadas por modelos mais eficientes, a limpeza periódica dos filtros dos condicionadores de ar, o controle da iluminação da quadra esportiva (desligando-a quando não utilizada), o desligamento da iluminação dos corredores durante o dia e a instalação de sensores de presença nesses espaços.

De maneira alinhada, Triana *et al.* (2025) indicam como medidas de eficiência energética a substituição de lâmpadas, a troca de equipamentos por modelos mais eficientes e a instalação de sensores de presença.

A partir desses estudos, observa-se que as medidas de eficiência energética podem ser agrupadas em ações relacionadas à envoltória da edificação, aos sistemas e equipamentos consumidores de energia e aos hábitos dos ocupantes. Entretanto, embora existam diversas possibilidades de intervenção, deve-se garantir que essas medidas não comprometam a qualidade do ambiente interno e o bem-estar dos usuários.

2.5.SÍNTESE DA REVISÃO DE LITERATURA

O desempenho energético e a qualidade do ambiente interno (QAI) têm se destacado como dimensões centrais para a sustentabilidade em edificações. Entretanto, a literatura evidencia que, em grande parte dos estudos, esses dois

aspectos são avaliados de forma independente, o que limita a compreensão integrada dos impactos das condições ambientais sobre o consumo de energia e o bem-estar dos ocupantes (López-Pérez *et al.*, 2018; Dorizas *et al.*, 2015). Em escolas, essa lacuna torna-se ainda mais relevante, dado o papel do ambiente físico no aprendizado e na saúde de alunos e professores (Wargocki E Wyon, 2013; Bakó-Biró *et al.*, 2012).

As metodologias de avaliação pós-ocupação (APO), como o *Post-Occupancy Measurement Protocol* (PMP) desenvolvido pelo *Center for the Built Environment* (CBE), constituem referências importantes para a análise integrada de conforto, satisfação e desempenho energético (Brager e Baker, 2009). No entanto, sua aplicação em edifícios educacionais ainda é restrita, sendo originalmente voltadas para escritórios e ambientes corporativos (Preiser & Vischer, 2005). Poucos estudos adaptaram esses protocolos ao contexto escolar, e a maioria das pesquisas concentra-se em países desenvolvidos, sob condições climáticas e socioeconômicas distintas das brasileiras (Santamouris *et al.*, 2012; Dorizas *et al.*, 2015).

Além disso, a literatura aponta a necessidade de incorporar a dimensão humana na análise do desempenho energético. Pesquisas como as de Rinaldi *et al.* (2018) e Bavaresco *et al.* (2020) enfatizam que o comportamento, as preferências e os hábitos dos ocupantes exercem influência significativa sobre o consumo energético e as condições de conforto, apesar disso, raramente são fatores considerados em auditorias energéticas.

No contexto brasileiro, embora existam estudos de APO voltados ao conforto térmico e à satisfação dos usuários em escolas (Ornstein, 2016; DINIZ DOS SANTOS *et al.*, 2017), são escassas as pesquisas que integram medições de QAI, satisfação ambiental e hábito dos ocupantes e consumo de energia. Ainda não há protocolos consolidados ou bases de dados nacionais que combinem esses indicadores.

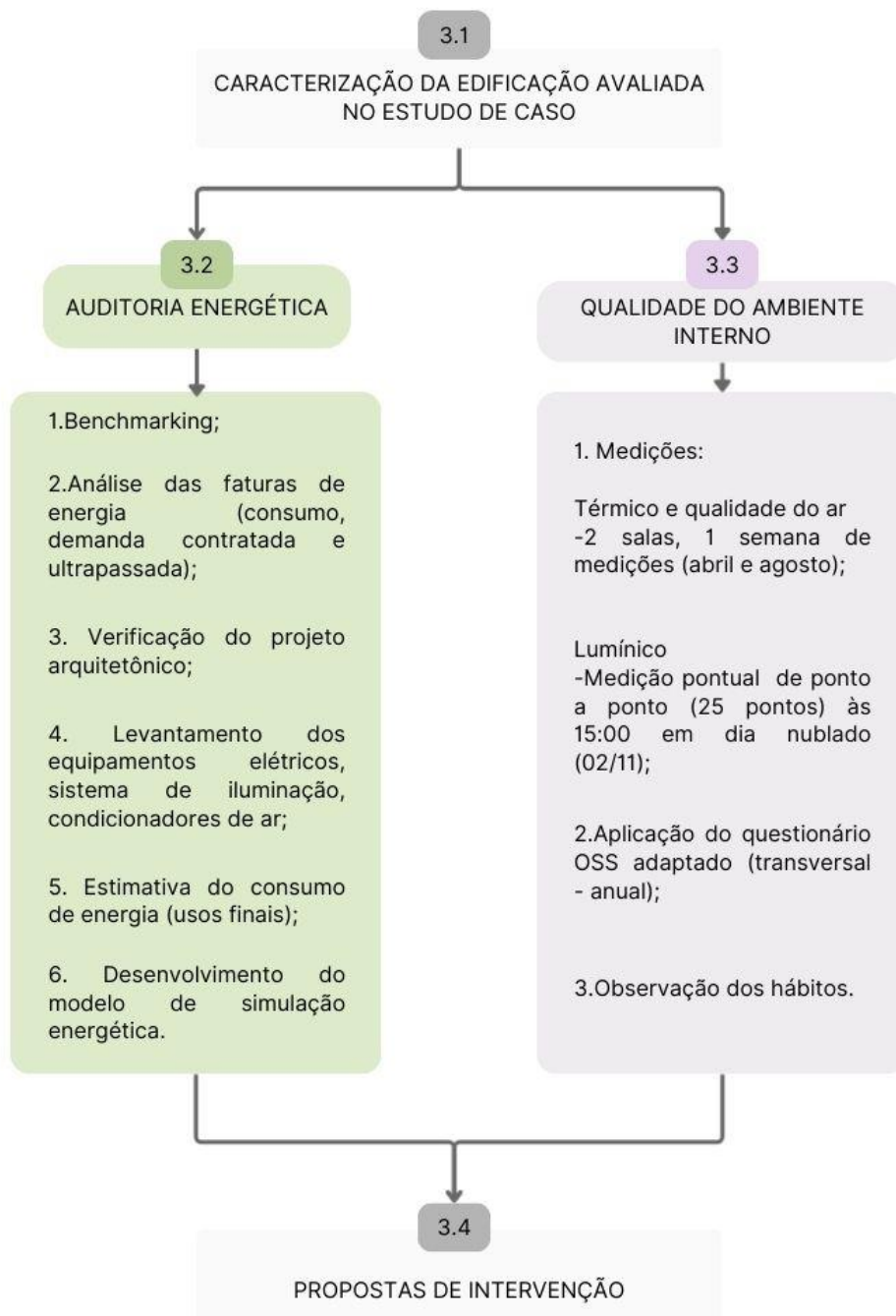
Portanto, a revisão da literatura revela uma lacuna na aplicação de abordagens integradas de avaliação de consumo de energia e QAI em escolas localizadas em climas tropicais e em países em desenvolvimento. Essa lacuna justifica a realização de estudos de caso que unam medições objetivas e qualitativas, capazes de contribuir tanto para o aprimoramento metodológico das

auditorias energéticas quanto para o desenvolvimento de políticas públicas, normativa referentes à qualidade do ambiente interno e simulações computacionais mais realistas.

3 MÉTODO

O método desta pesquisa foi estruturado em quatro etapas principais. A primeira etapa consistiu na caracterização da edificação avaliada no estudo de caso, abrangendo informações como localização, área construída, clima, características dos ambientes e os principais padrões de uso. A segunda etapa envolveu a realização de uma auditoria energética incluindo a análise das faturas de energia elétrica, o levantamento dos equipamentos consumidores de energia, a caracterização do sistema de iluminação e a execução de medições pontuais. Nessa fase também foi desenvolvido o modelo de simulação energética da edificação. Na terceira etapa, realiza-se a análise da qualidade do ambiente interno (QAI), por meio de questionário aplicado aos professores e à equipe diretiva/pedagógica, bem como de medições dos domínios térmico, lumínico e da qualidade do ar interior. A etapa final consiste na avaliação do cenário real e na proposição de medidas de eficiência energética, com base nas informações coletadas e analisadas anteriormente, visando simular o impacto dessas medidas e prever o cenário futuro. O fluxograma das etapas é apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma da metodologia proposta



Fonte: Elaborado pela autora.

3.1. CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

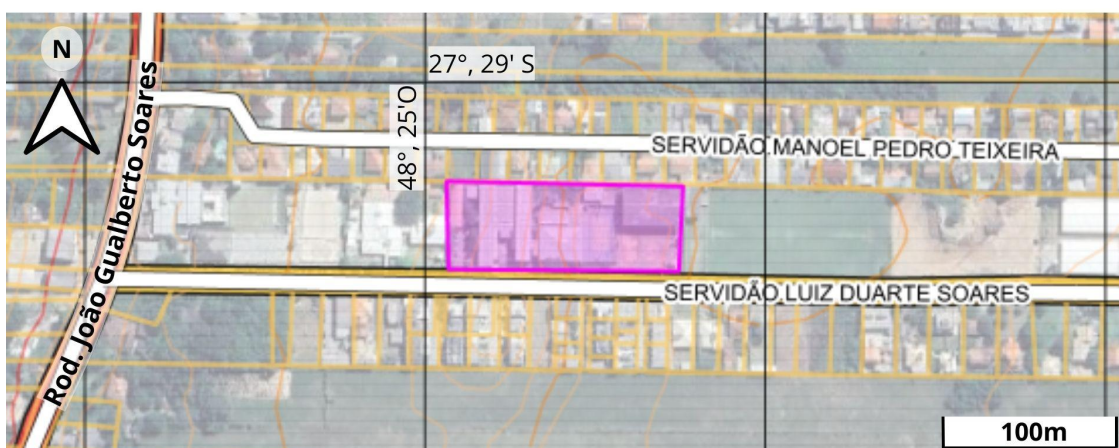
A instituição selecionada como estudo de caso é a Escola Básica Municipal Maria Conceição Nunes (Figura 3), situada no bairro Rio Vermelho, em Florianópolis (Figura 4). Inaugurada em 2003, é a segunda maior escola da rede municipal em número de matrículas, acolhendo 1175 alunos em 2025 (QEdu, 2025), e possui área construída de aproximadamente 3.098 m².

Figura 3 - Fachada frontal da instituição



Fonte: Google maps (2024).

Figura 4 – Localização do edifício.



Fonte: Adaptado de Prefeitura Municipal de Florianópolis (2025).

A instituição possui um edifício principal de dois andares (BLOCO A), onde estão situadas salas de aula, salas administrativas, biblioteca, laboratórios e auditório. Um segundo bloco (BLOCO B) abriga o refeitório, a cozinha e salas de serviço, tendo sido reformado em 2018 quando foi acrescentado um segundo andar com mais salas de aula. Em 2021, também foi anexado um terceiro bloco (BLOCO C) de um andar, construído com sistema industrializado (*steel frame*), destinado a três novas salas de aula para o ensino fundamental I. Além disso, a escola dispõe de duas quadras esportivas, uma coberta e a outra descoberta, e uma sala projetada para apoio às quadras esportivas, que é utilizada como sala de aula padrão desde 2024 (BLOCO D). Os blocos são apresentados na Figura 5.

Figura 5 - Vista superior do objeto de estudo.



Fonte: adaptado de Google Earth (2025).

A edificação é a mais alta do seu entorno imediato. A rua caracteriza-se pela presença de duas escolas de ensino fundamental, duas creches e edificações residenciais de até dois pavimentos. A fachada principal da edificação apresenta orientação predominantemente sul e é pintada com um mural colorido (Figura 3). As aberturas (janelas e portas) da maior parte das salas de aula (blocos A e C) são de orientação leste/oeste com destaque de haver aberturas em todas essas salas nas duas fachadas.

O conjunto escolar é composto por múltiplos edifícios, um arranjo que se enquadra entre os formatos representativos identificados por Geraldi *et al.* (2021). O Bloco A apresenta configuração em “U”, formato presente em 7,42% das escolas brasileiras, segundo o PPH comercial (2023). As salas de aula voltam-se para um pátio interno e distribuem-se ao longo de corredores cobertos, porém abertos (Figura 6). Na porção central do bloco localiza-se o núcleo de circulação vertical, composto por rampa e escada. O Bloco B possui configuração quadrada, adotada por 13,15% das escolas (PPH, 2023), enquanto o Bloco C apresenta formato retangular, observado em 28,92% das instituições analisadas pelo PPH (2023).

A instituição adota sistema construtivo em alvenaria de tijolos furados, com laje maciça, exceto no Bloco C, que apresenta estrutura pré-fabricada. As coberturas utilizam telhas de fibrocimento, as janelas possuem vidros translúcidos simples e a cor predominante da envoltória é o laranja claro. Essas características estão alinhadas às tipologias mais frequentes identificadas pelo PPH Comercial (2023).

Figura 6 - Orientação solar



Fonte: Adaptado NDmais (2019)

Os pilares se destacam como elementos marcados nas fachadas, conferindo ritmo à composição e contribuindo para o sombreamento das aberturas. No primeiro pavimento, a laje técnica acompanha a projeção dos pilares, reforçando o sombreamento. Nas salas do pavimento superior, o beiral atua como elemento adicional de proteção solar (Figura 7). No pátio interno do bloco em “U”, a circulação disposta como uma espécie de “sacada” também auxilia no sombreamento da fachada; contudo, as janelas superiores situam-se acima da cobertura dessa circulação.

Figura 7 - Detalhes da fachada oeste



Fonte: Elaborado pela autora

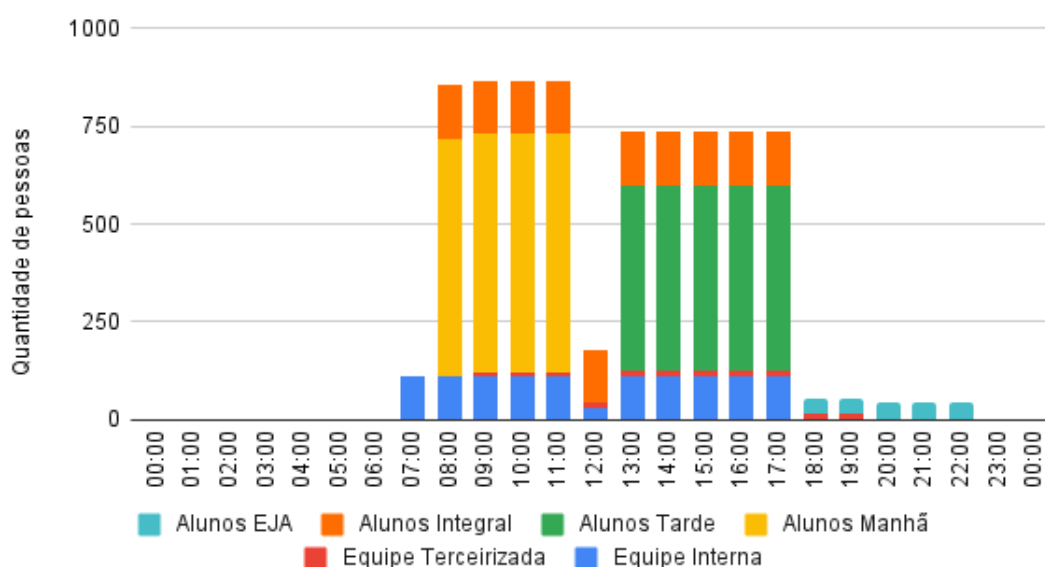
Em 2024, no período do início deste estudo, a escola possuía 147 funcionários (funcionários públicos e terceirizados), 1278 alunos do ensino fundamental I e II (7 a 15 anos), 40 alunos do Ensino de Jovens e Adultos (EJA), além de projetos pedagógicos dos quais 70 alunos participam no contraturno do ensino regular.

Em 2025, a direção escolar informou que a instituição contava com 121 funcionários vinculados à prefeitura, 1.175 alunos do Ensino Fundamental I e II (7 a 15 anos), dos quais 135 estavam matriculados em período integral, 40 alunos do Ensino de Jovens e Adultos (EJA), além de 111 estudantes participantes de projetos e atividades pedagógicas no contraturno do ensino regular.

O prédio funciona nos períodos matutino e vespertino, das 07:00 às 22:00. O primeiro funcionário, responsável pela vigilância, chega às 07:00, seguido pelos professores e pelas equipes diretiva, pedagógica e administrativa por volta das 07:30. Às 07:45, o portão é aberto para a entrada dos alunos. As aulas do período matutino ocorrem das 08:00 às 12:00, com um intervalo de 20 minutos na metade do período. Durante o horário de almoço, muitos professores permanecem na unidade, principalmente na sala dos professores, onde realizam suas refeições. Os alunos do período integral também almoçam na escola, no refeitório.

O portão é reaberto às 12:45 para a entrada dos alunos do período vespertino, cujas aulas acontecem das 13:00 às 17:00. Após o término das aulas, a equipe de limpeza percorre todas as salas, estendendo suas atividades até as 19:00, coincidindo com a chegada dos estudantes do EJA, cujas aulas ocorrem das 18:00 às 22:00. A Figura 8 representa o horário de cada tipo de usuário.

Figura 8 - Horário de ocupação



Fonte: Elaborado pela autora.

Além disso, os alunos têm dois meses de férias no verão, geralmente da segunda semana de dezembro ao início de fevereiro, enquanto a equipe escolar dispõe de um mês de recesso. Esse afastamento reduz significativamente a ocupação da escola nesse período. Em julho, ocorre ainda um recesso de 2 a 3 semanas, o que caracteriza esse mês como o de menor consumo de energia ao longo do ano.

O edifício contém 66 ambientes. A Tabela 1 apresenta os tipos de ambientes e a quantidade correspondente. O conteúdo arquitetônico da instituição, bem como as faturas de energia referente ao período de 22 meses (03/2023 - 12/2024) foram disponibilizados pela Gerência de Obras e Manutenção Predial (GOMP), órgão da prefeitura municipal de Florianópolis.

Tabela 1 – Tipos e quantidades de ambientes.

	Ambiente	Quantidade
1	Guarita	1
2	Secretaria	1
3	Auxílio Pedagógico e salas de apoio	3
4	Direção	1
5	Banheiros	10
6	Sala dos professores	1
7	Almoxarifado	1
8	Sala de Aula	24
9	Depósito	5
10	Auditório	1
11	Coxia/ Robótica	1
12	Biblioteca	2
13	Laboratório	3
14	Laboratório de informática	1
15	Cozinha	1 - *6 ambientes
16	Área de serviço	1
17	Sala de manutenção	1
19	Quadras de esporte	2
20	Refeitório	1

Fonte: Elaborado pela autora.

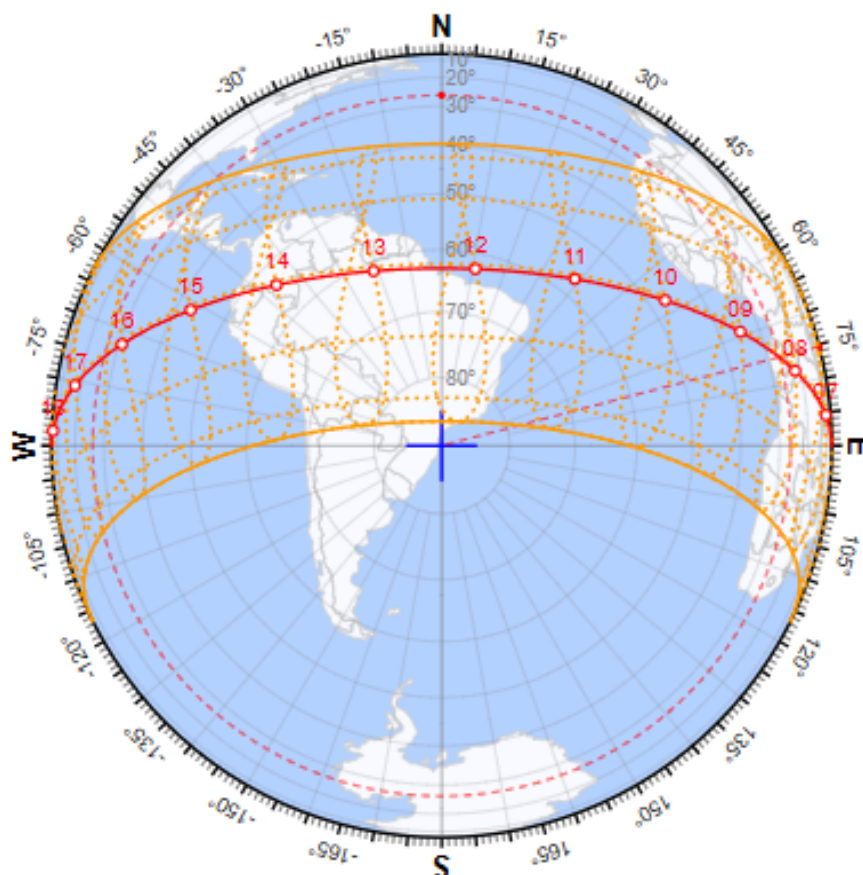
Nota *: o bloco da cozinha é composto por 6 ambientes: lavanderia, sala de refrigeração, sala de armazenamento, cocção e recebimento.

Alguns ambientes foram originalmente planejados para usos específicos, mas, devido à necessidade de atender a um maior número de alunos, acabaram sendo adaptados para uso como salas de aula.

3.1.1. Caracterização do clima de Florianópolis/ SC

A cidade de Florianópolis está situada no litoral da região Sul, no estado de Santa Catarina, nas coordenadas latitude $-27,67$ e longitude $-48,55$. A carta solar apresentada na Figura 9 mostra a trajetória do Sol ao longo do ano, mais longa no verão e mais curta no inverno, evidenciando que, por estar relativamente distante da linha do Equador, o ângulo solar é mais baixo na maior parte do tempo.

Figura 9 - Carta solar Florianópolis

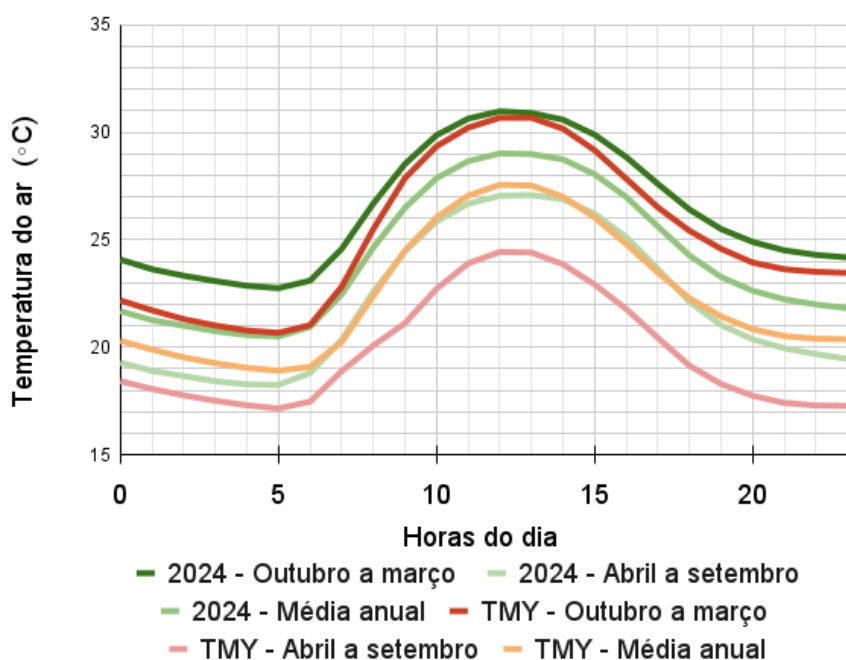


Fonte: Adaptado de Marsh (2025).

O município está inserido na Zona Bioclimática 3A, caracterizada por clima misto e úmido. A temperatura média anual do ar (bulbo seco) é de 21,2 °C, com umidade relativa média de 80,3%. A média anual da radiação horizontal global diária é de 4323,35 kWh/m².ano. A velocidade média anual do vento é de 3,54 m/s, enquanto a amplitude térmica média anual é de 6,84 °C (ABNT NBR 15220-3, 2024).

A Figura 10 apresenta as temperaturas médias horárias, organizadas em períodos sazonais (de outubro a março e de abril a setembro), bem como a média anual. Os dados incluem o arquivo climático TMY (Florianópolis.838970_TMYx, 2022) e os valores registrados em 2024 pela estação meteorológica mais próxima do local de estudo, localizada no Laboratório Fotovoltaica da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) Observa-se, para o arquivo TMY, uma amplitude térmica diária de aproximadamente 10 °C e uma amplitude sazonal de até 6 °C, enquanto os dados de 2024 da estação meteorológica apresentam uma amplitude térmica diária de cerca de 8 °C e uma amplitude sazonal de até 4 °C.

Figura 10 - Temperatura horária média sazonal dos arquivos climáticos



Fonte: Elaborado pela autora.

Quanto à direção dos ventos, a região da Grande Florianópolis apresenta maior recorrência de vento nordeste, ocorrendo em dez dos doze meses do ano, o que o torna predominante. Enquanto o vento sul ocorre em abril e maio com maior predominância (Wahrlich *et al.*, 2018; Silveira *et al.*, 2014).

3.2.AUDITORIA ENERGÉTICA

Com base na ASHRAE Standard 211 (2018), elaborou-se uma adaptação dos procedimentos para a realização da auditoria energética. Conforme descrito na seção de revisão da literatura, a norma define três níveis de auditoria, sendo o nível dois o mais adequado para este estudo, por envolver a simulação de modelos energéticos para estimar a economia de energia das medidas de eficiência energética propostas.

3.2.1. Determinação do consumo de energia

No item 5.2.3 da ASHRAE Standard 211, é descrito que o auditor de energia deve realizar uma análise preliminar de uso de energia, a partir do *benchmarking* do consumo de energia, comparando-o com seus pares. Com isso, a primeira etapa da metodologia proposta nesta pesquisa consistiu na realização do *benchmarking* energético por meio da Plataforma DEO - Desempenho Energético Operacional, desenvolvida pelo Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS). Posteriormente, foram avaliados o consumo anual e mensal de energia, a partir das faturas solicitadas à prefeitura, bem como a demanda de energia contratada e ultrapassada no período de um ano (2024). Não foi possível analisar as curvas de carga da edificação, pois o acesso aos dados solicitados à prefeitura não foi concedido durante o período de pesquisa.

A etapa seguinte compreendeu o levantamento do local, realizado por meio de observações durante visitas *in loco* realizadas em dias não letivos no mês de março de 2025. Esta etapa incluiu, além da verificação do espaço em relação à

documentação dos desenhos arquitetônicos, a conferência das informações sobre a envoltória e as esquadrias, bem como a revisão dos sistemas e equipamentos elétricos e de iluminação. O objetivo foi identificar possíveis divergências no uso dos ambientes, nas tecnologias e materiais construtivos usados na edificação e nas dimensões e materiais das esquadrias, que pudessem diferir das especificações apresentadas nos documentos disponibilizados. A visita foi registrada a partir de fotos dos ambientes, conferindo as dimensões das plantas disponibilizadas e os materiais construtivos, e a medição da altura do pé direito (informação não disponibilizada no projeto). Essa fase possibilitou a classificação dos ambientes de acordo com seu tipo e evidenciou os espaços nos quais foram realizadas alterações na unidade escolar. Foram identificadas divergências entre o projeto arquitetônico e a construção efetiva da escola. Alguns ambientes apresentaram paredes internas demolidas, ampliando os espaços, enquanto outros receberam novas divisórias. Além disso, observou-se que muitos ambientes apresentavam usos diferentes daqueles previstos em projeto, bem como certa dinamicidade na ocupação, com alterações de leiaute e função ocorrendo ao longo do período de estudo. Um exemplo é a sala da supervisão escolar que, no início deste estudo, estava sendo utilizada como sala de aula. De forma semelhante, a sala destinada aos materiais esportivos passou a ser usada como sala de aula, embora, segundo a equipe escolar, anteriormente tenha sido utilizada como sala de dança. Da mesma forma, a sala existente na biblioteca, prevista para ser utilizada como sala de estudos, também é atualmente destinada à sala de aula. Adicionalmente, o projeto referente ao bloco C, incorporado em 2019, não foi encontrado entre os arquivos fornecidos pela prefeitura.

Os equipamentos consumidores de energia, e o sistema de iluminação foram listados por ambiente, incluindo todos os ambientes, sendo documentados e organizados em tabela (Apêndice A) incluindo quantidades, marcas, modelos e potências nominais. O sistema de condicionamento de ar da instituição é composto exclusivamente por unidades individuais do tipo split. Para as quais foram anotadas informações sobre potência nominal, eficiência energética e modelo. Outros equipamentos elétricos, como refrigeradores, freezers, geladeiras, micro-ondas, computadores, equipamentos de tecnologia, também foram incluídos na

investigação, sendo listados com marca, modelo e potência nominal. Nos casos em que os aparelhos não forneciam as informações, estas foram obtidas por meio das especificações técnicas disponíveis nos sites dos fabricantes.

Foram realizadas medições pontuais de energia em refrigeradores, micro-ondas e central de rede de internet (rack para equipamentos de tecnologia da informação). Para a medição dos eletrodomésticos (Figura 11) foram utilizadas tomadas inteligentes TP-Link TAPO P110 (Figura 12). Esses dispositivos são configurados por meio de um aplicativo instalado em telefone móvel, o qual permite exportar planilhas com os resultados de consumo. As medições foram realizadas ao longo de 42 dias, no período de 20/10/2024 a 01/12/2024.

Figura 11 - Eletrodomésticos medidos



Fonte: Elaborado pela autora

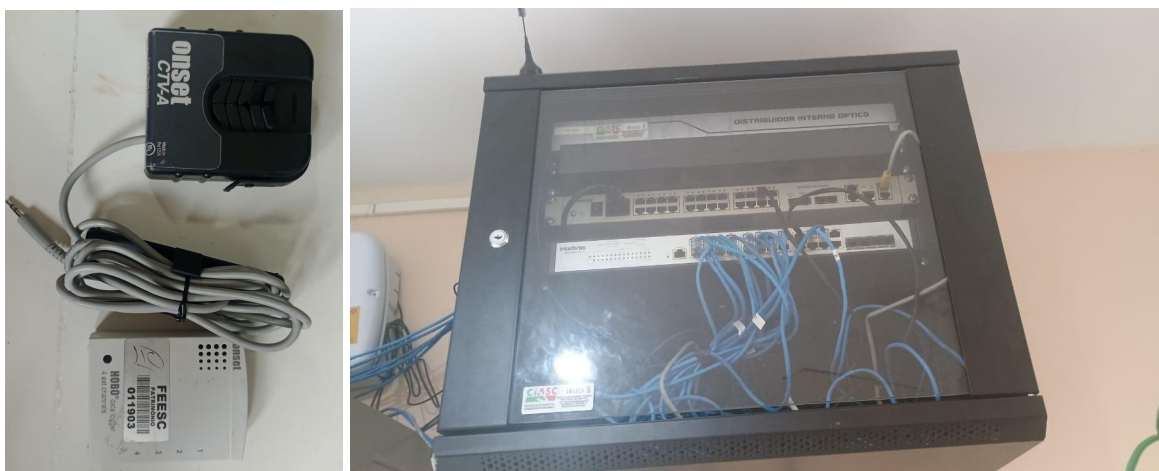
Figura 12 - Tomada Inteligente TAPO P110



Fonte: TP-LINK (2023)

Para a medição do consumo energético do rack para equipamentos de TI foi utilizado o sensor Onset CTV-A 50 A para a leitura da corrente elétrica, conectado ao HOBO U12-006 para o armazenamento dos dados de medição (Figura 13). O sensor Onset CTV-A possui acurácia de $\pm 4\%$. A medição ocorreu durante 30 dias, entre 04/10/2025 e 02/11/2025.

Figura 13 - Equipamentos de medição e central de rede de internet



(a) Sensor Onset CTV-A e HOBO U12-006

(b) rack para equipamentos de TI

Fonte: Elaborado pela autora.

A estimativa do consumo energético considerou ainda os cronogramas de ocupação e de uso dos equipamentos e sistemas de iluminação, estabelecidos com base nas observações realizadas em campo. Essa etapa foi conduzida principalmente de forma simultânea às medições de qualidade do ambiente interno (item 3.4), período em que a pesquisadora permaneceu na unidade escolar durante todo o dia. A partir disso, foi possível identificar, de modo geral, os períodos de utilização da iluminação durante as aulas, nos turnos diurno e noturno, bem como os padrões de uso dos equipamentos de climatização nas estações quente e fria.

A partir dos dados de uso e de consumo de energia, foi realizada uma análise de usos finais, discriminada por fonte de energia. O consumo foi estimado separadamente para climatização, iluminação, geladeiras e freezers, cargas de tomada, aquecimento de água e outros usos. Também foi estimado o consumo

energético por tipo de ambiente, considerando as seguintes classes: salas de aula, salas administrativas, sala dos professores, multimeios, laboratórios, áreas comuns, quadras esportivas, auditório, biblioteca, cozinha e área de permanência transitória APT - considerando sanitários e depósitos.

Para estimar o consumo, a potência registrada de cada item foi multiplicada pelo seu tempo de uso, definido a partir de observações em campo realizadas pela pesquisadora. Dessa forma, foi possível calcular o consumo diário e mensal, considerando os dias de uso no período analisado. Em casos específicos, como geladeiras, micro-ondas e o equipamento de data center, o consumo foi aferido ao longo de um mês completo.

O consumo de energia foi estimado considerando diferentes cenários: meses de inverno, meses de verão, consumo anual e consumo médio mensal. O consumo estimado de inverno corresponde ao uso da edificação sem ar-condicionado e ventiladores (categoria de climatização), enquanto o consumo real de inverno corresponde ao mês de agosto, identificado como o mês ocupado de menor consumo. Já o consumo estimado de verão inclui o uso integral de ar-condicionado e ventiladores, e o consumo real de verão foi considerado a partir do mês de maior consumo registrado (abril).

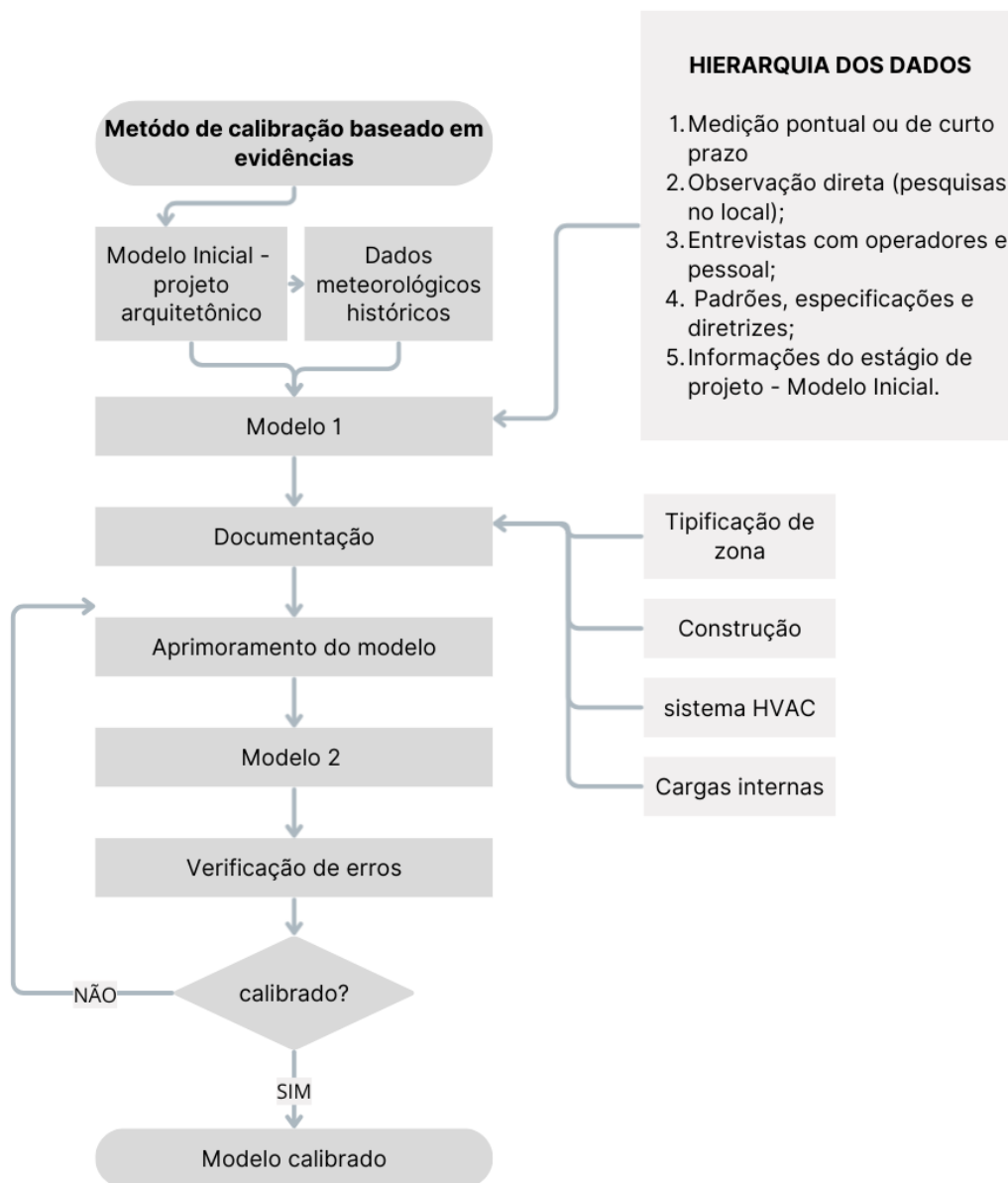
Para o consumo anual estimado, adotou-se a soma de seis meses de inverno e seis meses de verão, calculados a partir das estimativas sazonais. O consumo real anual, por sua vez, corresponde ao total registrado nas faturas de energia elétrica do ano. Por fim, o consumo mensal estimado foi calculado a partir da média entre os valores estimados de inverno e de verão, enquanto o consumo real mensal corresponde à média dos valores faturados ao longo dos 12 meses analisados.

3.2.2. Desenvolvimento do modelo de simulação de energia

Foi utilizado o método de calibração baseado em evidências proposto por Raftery, Keane e O'Donnell (2011) considerando adaptações a fim de priorizar os

objetivos deste trabalho. A Figura 14 apresenta o fluxograma da metodologia de calibração.

Figura 14 - Método de calibração baseado em evidências



Fonte: Adaptado de Raftery, Keane e O'Donnell (2011)

A modelagem inicial da geometria foi realizada a partir do projeto arquitetônico disponibilizado pela prefeitura municipal, em arquivo DWG, utilizando o programa *SketchUp Make* e o *plugin Euclid* para exportar o modelo em formato .idf para uso no programa *EnergyPlus*.

Em sequência, foi desenvolvido um arquivo climático próprio, para aumentar a confiabilidade e reduzir as fontes de incerteza do modelo. Os dados para o arquivo climático vieram da estação meteorológica localizada no Laboratório Fotovoltaica da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), sendo essa a estação mais próxima do local de estudo. Os dados recebidos incluem temperatura de bulbo seco e úmido, pressão atmosférica, umidade relativa do ar, temperatura de ponto de orvalho, radiação solar global, radiação solar direta normal, radiação solar difusa e velocidade do vento, registrados minuto a minuto ao longo de 2024. Esses dados foram processados por um código em Python desenvolvido pela equipe do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), que os converte para a formatação exigida pelo arquivo climático (.epw). As variáveis não disponíveis nos dados originais foram calculadas a partir das variáveis medidas. O código gerou um arquivo .csv, cujas colunas foram posteriormente importadas para o programa Elements, gerando um arquivo .epw.

A partir disso, realizou-se uma simulação inicial. Em seguida, os documentos e dados coletados foram agrupados e organizados segundo uma hierarquia de importância em que 1 é mais importante e 6 menos importante, conforme descrito a seguir:

1. Medições pontuais ou de curto prazo;
2. Observações realizadas no local;
3. Entrevistas com operadores e funcionários;
4. Documentos de operação, como manuais de Operação e Manutenção;
5. Padrões, especificações técnicas e diretrizes;
6. Informações referentes à etapa de projeto, incluindo o modelo inicial.

Dessa forma, os dados obtidos *in loco* durante o período de estudo foram considerados mais relevantes, por meio de medições, observações diretas e questionários. Na sequência, foram priorizadas as especificações técnicas e as informações provenientes do projeto arquitetônico.

Após a hierarquização dos dados, iniciou-se o aprimoramento do modelo de simulação computacional, com a separação das zonas térmicas por tipo de

ambiente, seguindo a mesma classificação utilizada na estimativa do consumo de energia. Além disso, foram atualizadas as informações sobre a construção e a envoltória do edifício, conforme os dados mais recentes disponíveis, e foram inseridas as *schedules* dos sistemas e das cargas internas. O Quadro 1 reúne as principais fontes de informação consideradas na configuração do modelo de simulação energética.

Quadro 1 - Fonte dos dados para o modelo de simulação computacional

Configuração (input)	Fonte
Arquivo climático	Dados Fotovoltaica UFSC
Geometria	Projeto arquitetônico
Perfis de operação	Auditoria energética
Densidade de potência de equipamentos	
Densidade de potência de iluminação	
Densidade de ocupação	
Sistema de climatização	
Propriedades térmicas dos materiais	Biblioteca de componentes construtivos de Schlichting <i>et. al.</i> (2025)
Calendário	Calendário acadêmico de 2024, com adaptações

Fonte: Elaborado pela autora.

A validação do modelo computacional foi realizada por meio da análise comparativa entre os dados simulados e os valores reais das faturas de energia elétrica do edifício. Para garantir a consistência estatística do modelo, adotaram-se os critérios de calibração estabelecidos pela *ASHRAE Guideline 14* (2014), amplamente reconhecida na literatura como a métrica padrão para a avaliação de acurácia em simulações energéticas (Chong *et al.*, 2021).

A calibração fundamentou-se em dois indicadores principais, o Erro de Viés Médio Normalizado (NMBE) (Equação 1) e o Coeficiente de Variação do Erro Quadrático Médio (CV(RMSE)) (Equação 2). Segundo a referida norma, o modelo é

considerado calibrado para dados mensais quando apresenta limites de erro inferiores a $\pm 5\%$ para o NMBE e 15% para o CV (RMSE).

$$NMBE (\%) = \frac{\sum_{i=1}^N (m_i - S_i)}{(n-1) \times \bar{m}} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

M_i são os dados reais

S_i são os dados simulados

n é o número total de observações (período medido)

$\bar{m}$ é a média dos valores reais

$$CV (RMSE) (\%) = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (m_i - S_i)^2}{n-p}}}{\bar{m}} \times 100 \quad (2)$$

Em que:

M_i são os dados reais

S_i são os dados simulados

n é o número total de observações (período medido)

$\bar{m}$ é a média dos valores reais

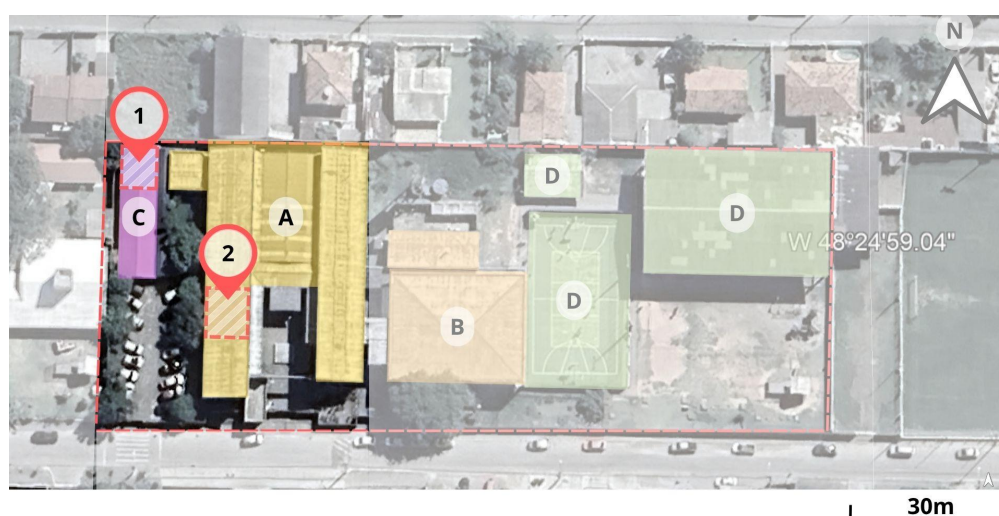
O CV (RMSE) indica o quão próximos dos valores da simulação estão os dados medidos, refletindo a precisão do modelo. Por outro lado, o NMBE serve como um indicador da visão geral na análise da simulação, ou seja, mostra se há uma tendência de superestimar ou subestimar os valores. Caso os erros analisados estejam dentro dos limites estabelecidos, o modelo é considerado calibrado. Se não estiver, o processo retorna à etapa de ajuste do modelo.

3.3.QUALIDADE DO AMBIENTE INTERNO

A avaliação da qualidade do ambiente interno foi realizada por meio de um questionário de satisfação aplicado aos ocupantes, abrangendo os domínios térmico, lumínico, da qualidade do ar e acústico, bem como por medições in loco dos domínios térmico, lumínico e da qualidade do ar. As medições foram conduzidas em dois períodos distintos: o primeiro em abril (estação quente), selecionado por corresponder ao mês de maior consumo de energia em 2024, e o segundo em agosto (estação fria), referente ao mês de menor consumo no mesmo ano. As campanhas de medição ocorreram em duas salas de aula, nas quais foram coletados dados relativos ao desempenho térmico, visual e à qualidade do ar interno.

As salas de aula selecionadas foram escolhidas estrategicamente com base na orientação oeste, que tende a gerar maior carga térmica no verão, demandando maior capacidade de resfriamento dos condicionadores de ar. Além disso, as salas apresentam diferentes tipos de materiais construtivos, representando os dois tipos de sala de aula existentes na unidade escolar. A Figura 15 apresenta a localização das salas 1 e 2 nos blocos.

Figura 15 - Localização das salas de aula adotadas para a realização da medição



Fonte: Adaptado de Google Earth (2026)

A primeira sala de aula (Figura 16) localiza-se no bloco C, possui 45,17 m² e tem capacidade máxima de 27 pessoas. As medições foram autorizadas pela Gerência de Formação Continuada da prefeitura, conforme o ofício GFC 17/2025. A primeira rodada ocorreu de 07 a 11 de abril de 2025 na primeira sala e de 14 a 16 de abril de 2025 na segunda sala, com duração de uma semana na primeira sala e três dias na segunda, pois era uma semana de feriado. Da mesma forma, a segunda rodada de medições ocorreu de 12 a 15 de agosto na primeira sala e de 18 a 21 de agosto na segunda sala.

Figura 16 - Sala de aula 1



Fonte: Elaborado pela autora.

A segunda sala de aula a ser analisada (Figura 17) está localizada no segundo andar do bloco A, possui 48,26 m² e capacidade máxima de 32 pessoas.

Figura 17 - Sala de Aula 2



Fonte: Elaborado pela autora.

No domínio térmico, foi utilizado um confortímetro (Figura 18) para a medição de temperatura do ar, da velocidade do ar, da temperatura de globo e da umidade relativa. O equipamento foi posicionado no centro das salas de aula, com registro minuto a minuto. Os valores das variáveis relacionadas ao ambiente térmico foram analisados conforme norma ABNT NBR 16.401-2:2024, considerando o conforto térmico adaptativo, a partir da faixa de temperatura operativa.

Figura 18 - Confortímetro utilizado para as medições relacionadas ao domínio térmico



Fonte: Elaborado pela autora.

Para a avaliação da qualidade do ar, foi utilizado o Hobo MX1102A logger onset capaz de registrar temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa (%) e concentração de CO_2 (ppm) (Figura 19). Foram posicionadas quatro unidades em cada sala de aula: duas ao nível da respiração e duas em altura superior (indicadas nas Figuras 20 e 21). A disposição dos equipamentos foi combinada com a equipe escolar, de modo a interferir minimamente na dinâmica natural da aula. Também foi tomado o cuidado de evitar a exposição direta à radiação solar e de manter os equipamentos afastados de fontes de calor. As medições foram registradas a cada 1 minuto.

Os valores de CO_2 obtidos na medição foram analisados a partir da norma EN 16798 que, de modo geral, recomenda que a concentração de CO_2 seja mantida abaixo de 1.000 ppm para garantir um ambiente saudável e confortável para os ocupantes.

Figura 19 - Hobo MX 1102A logger



Fonte: ONSETComp (2026)

As medições referentes ao domínio visual ocorreram no dia 02 de novembro, utilizando o luxímetro digital minipa MLM 1011 (Figura 22) que possui faixa de medição de 0 a 100 000 lux, resolução mínima de 1 lux e incerteza de medição de $\pm 4\%$ da leitura. As medições foram realizadas durante o dia não letivo em duas situações (cortinas abertas e cortinas fechadas), às 15:00, durante um dia de céu nublado (Figura 23).

Figura 22 - Luxímetro digital Minipa MLM 1011



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 23 - Céu no dia da medição de iluminância

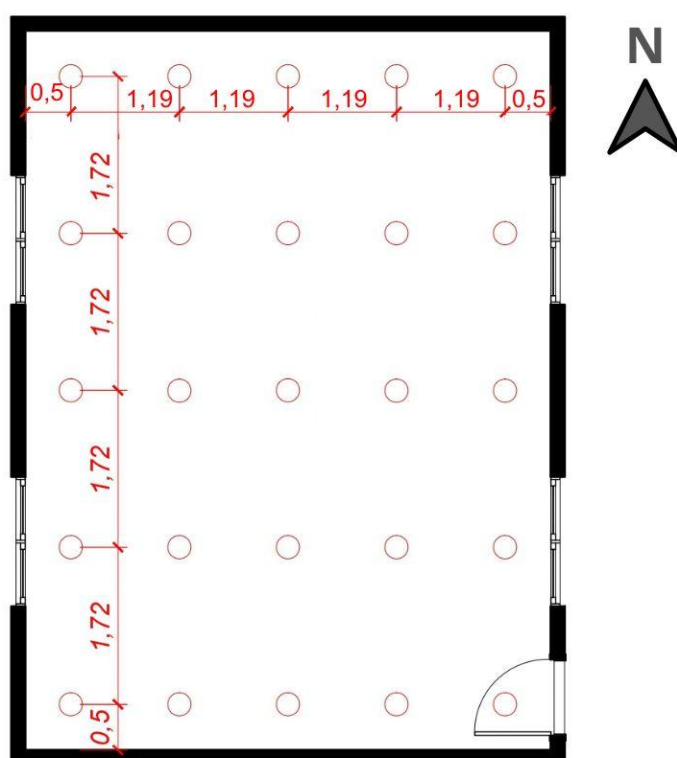


Fonte: Elaborado pela autora

A metodologia de medição seguiu a ABNT NBR 15215 – Iluminação natural, Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação natural interna, que estabelece os procedimentos para a avaliação da iluminação natural em ambientes internos, prevendo a utilização de uma malha de 25 pontos em cada sala de aula, apresentados nas Figuras 24 e 25. Embora a norma seja voltada especificamente

para a iluminação natural, o mesmo procedimento foi adotado para as medições realizadas sob iluminação artificial (cortinas fechadas), com o intuito de verificar a iluminância total disponível para os alunos no ambiente e compará-la com a iluminância recomendada para ambientes de salas de aula, conforme a Tabela da NBR ISO/CIE 8995-1:2013 – Iluminação de ambientes de trabalho – Parte 1: Requisitos gerais de iluminação. O luxímetro foi posicionado em 25 pontos na altura do tampo da mesa (72 cm) nas duas salas.

Figura 24 - Malha de pontos de medição na sala 1

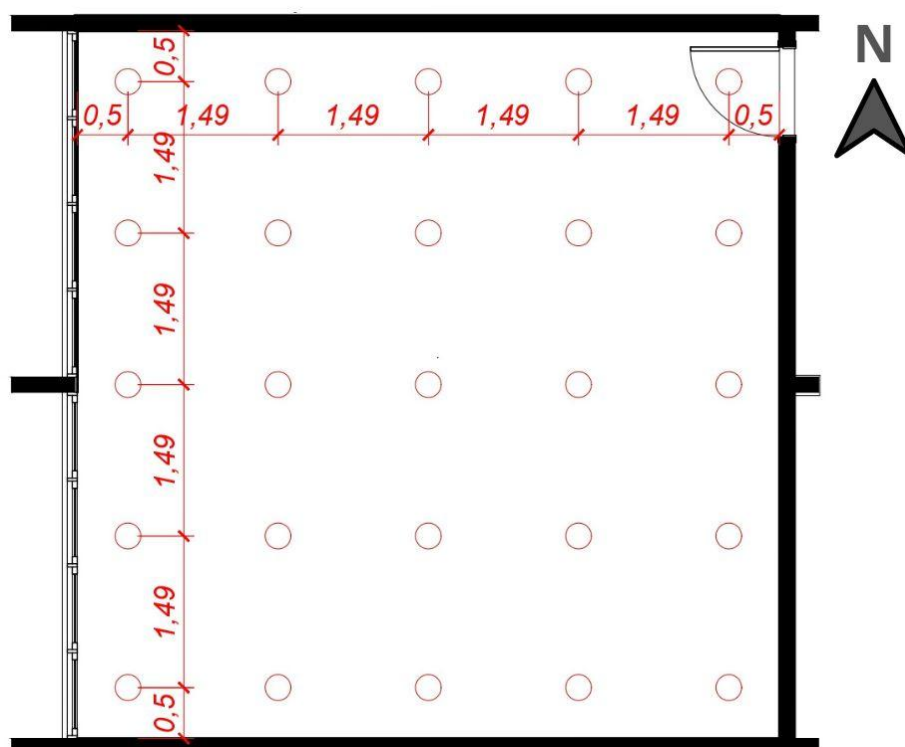


Legenda

○ Distribuição dos pontos da malha de medição na sala

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 25 - Malha de pontos de medição na sala 2



Legenda

○ Distribuição dos pontos da malha de medição na sala

Fonte: Elaborado pela autora

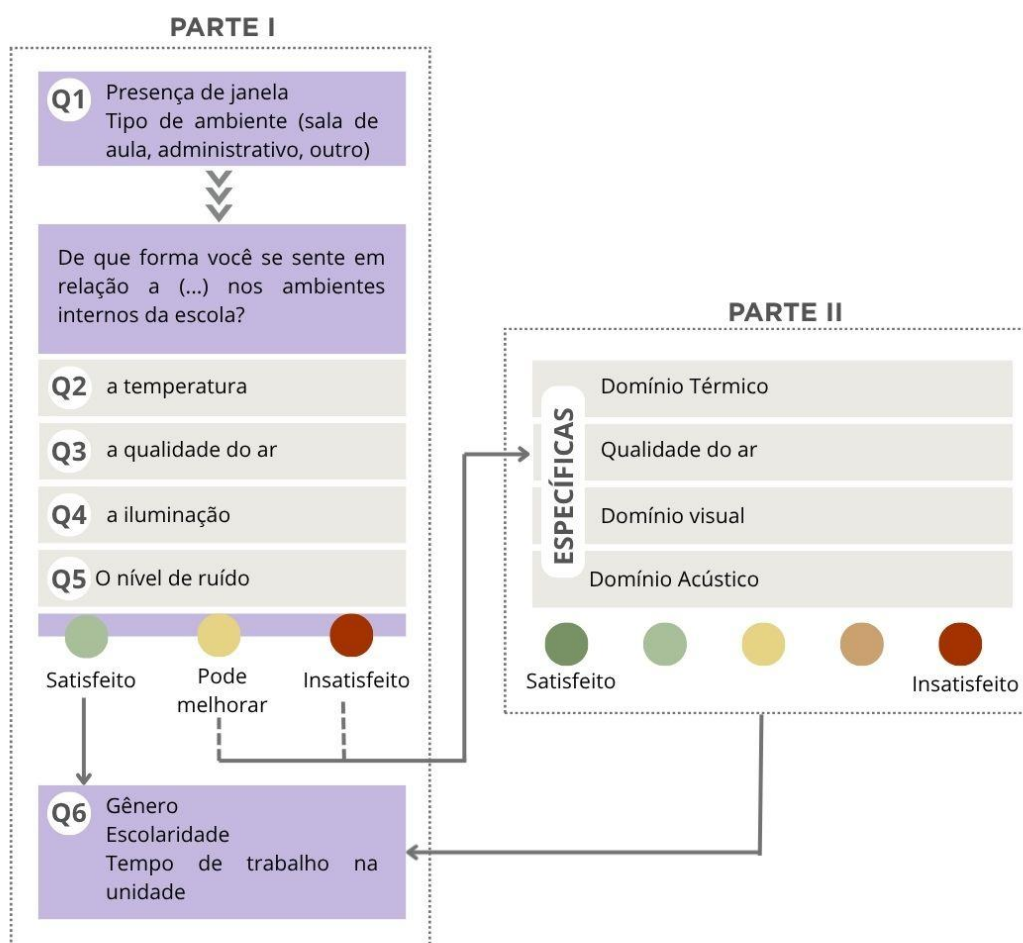
Para a avaliação qualitativa, foi aplicado um questionário à equipe escolar, incluindo professores, pessoas da equipe diretiva e administrativa. A aplicação do questionário ocorreu apenas após a aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da UFSC, tendo como número CAAE 87432025.6.0000.0121, com autorização da Gerência de Formação continuada (GFC) ofício número 22/2025 e declaração de anuência da prefeitura. O período de aplicação do questionário iniciou-se simultaneamente à segunda rodada de medições (04/08/2025) e se estendeu durante um mês inteiro.

O questionário utilizado constitui uma adaptação do instrumento desenvolvido por Castro *et al.* (2025), originalmente concebido para aplicação em ambientes de escritório. O instrumento aborda os domínios térmico, acústico, visual e a qualidade do ar, com perguntas em escala Likert de 5 pontos. Semelhante ao

instrumento original, o questionário se divide em duas partes: a primeira contém perguntas gerais para cada domínio, enquanto a segunda apresenta perguntas ramificadas, exibidas apenas se o respondente relatar insatisfação ou desconforto em algum domínio.

A adaptação realizada consistiu principalmente na inclusão de uma questão mais abrangente para cada domínio, com o objetivo de reduzir o tempo de resposta caso o usuário se sentisse confortável. Além disso, foram excluídas perguntas específicas sobre os espaços de escritório, como aquelas sobre o tipo de layout das estações de trabalho, bem como questões relativas à satisfação com os sistemas de controle. A Figura 26 apresenta uma ilustração da adaptação do questionário, enquanto o Apêndice B apresenta todas as questões do instrumento de pesquisa.

Figura 26 - Estrutura da adaptação do questionário



Fonte: Elaborado pela autora.

O questionário foi disponibilizado à equipe escolar pela supervisão por meio do canal interno de comunicação via WhatsApp, além de um *QR code* afixado na sala dos professores, permitindo o acesso voluntário ao instrumento. O Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) foi apresentado na página inicial do questionário, que somente podia ser iniciado após o participante registrar sua concordância.

O instrumento foi elaborado na plataforma Cognito Forms (Figura 27), que possibilitou a aplicação da lógica de ramificação prevista no desenho do questionário.

Figura 27 - Cognito Forms - ferramenta para o desenvolvimento do questionário ramificado

The image shows the Cognito Forms interface. On the left is the 'Form Settings' panel with the following fields and options:

- Title:** AVALIAÇÃO QAI
- Name:** AVALIAÇÃO QAI
- URL:** ...eralDeSantaCatarina/AVALIAÇÃOQAI
- Description:** Avaliação da satisfação do usuário com parâmetros da Qualidade Ambiental
- Encrypt Entry Data?:** (toggle switch)
- Share as Template?:** (toggle switch)

On the right is a preview of the form. The header section is titled 'AVALIAÇÃO QAI' with the subtitle 'Avaliação da satisfação do usuário com parâmetros da Qualidade Ambiental Interna no ambiente escolar'. Below this is the 'INTRODUÇÃO' section, which contains the following text:

Prezado(a) participante,

O/A senhor/a está sendo convidado para participar como voluntário(a) da pesquisa “Avaliação de Consumo de Energia e Qualidade do Ambiente Interno de Edificações Educacionais – Estudo de Caso em Escola de Ensino Fundamental”. O objetivo desta pesquisa é realizar um diagnóstico de energia e qualidade do ambiente interno, visando a proposta de medidas de eficiência energética. Buscando uma compreensão mais aprofundada quanto ao desempenho energético operacional de instituições de ensino, possuindo como estudo de caso a Escola Básica Municipal Maria Conceição Nunes.

Fonte: Elaborado pela autora.

Nesta etapa também se realizou observação direta, buscando compreender o padrão de uso dos equipamentos consumidores de energia, do sistema de iluminação, dos horários de chegadas e partidas e dos hábitos (como abrir e fechar a janela e/ou cortinas). A síntese dos equipamentos e instrumentos utilizados na avaliação da qualidade do ambiente interno é apresentada no Quadro 2.

Quadro 2 - Informações técnicas dos instrumentos de medição utilizados

Equipamento/ Instrumento	Variável ambiental	Resolução	Acurácia
Termômetro de globo, termopar tipo K	Temperatura de globo [°C]	0,1°C	Classe 1 ¹
Termopar tipo K	Temperatura do ar [°C]	0,1°C	± 0,5°C
Sensu	Velocidade do ar [m/s] e Umidade relativa [%]	0,01m/s 0,1%	-
Hobo MX CO ₂ logger (MX1102A)	Concentração de CO ₂ [ppm]	1 ppm	± 50 ppm ±% da leitura a 25°C
	Temperatura do ar [°C]	0,024 °C a 25 °C	±0,21 °C de 0 °C a 50 °C
Luxímetro	Iluminância (Lux)	1 lux na faixa mais baixa (2000 lux) 10 lux na faixa intermediária (20000 lux, modo ×10)	Para leituras até 10000 lux: ±(4% da leitura + 0,5% do fundo de escala) Para leituras acima de 10000 lux: ±(5% da leitura + 10 dígitos)

Fonte: Elaborado pela autora

3.4.PROPOSTA DE INTERVENÇÃO NA EDIFICAÇÃO

A definição das propostas de intervenção na edificação baseou-se na análise qualitativa dos três conjuntos de dados coletados nas etapas metodológicas anteriores: consumo de energia elétrica mensal, medições ambientais *in loco* e respostas ao questionário aplicado aos ocupantes. As medições de qualidade do ambiente interno, realizadas em duas salas representativas durante uma semana em cada sala e em duas estações do ano, incluíram iluminância, temperatura, umidade e concentração de CO₂. O questionário, de caráter transversal, avaliou a percepção de conforto e satisfação dos ocupantes ao longo das estações, fornecendo informações sobre os hábitos de uso e os pontos de desconforto no ambiente. A observação direta da operação dos sistemas do edifício complementou a análise, permitindo identificar práticas que influenciam o consumo, como a

permanência das luzes externas ligadas 24 horas ou o uso do ar-condicionado com a janela aberta.

O cruzamento qualitativo desses dados consistiu em comparar as percepções relatadas no questionário com as medições *in loco* e com a operação do edifício, com o objetivo de identificar os problemas mais relevantes para o conforto dos ocupantes e para o consumo energético, mesmo sem existir correlação numérica direta entre os conjuntos de dados.

A seleção das medidas considerou as informações obtidas por meio de medições e questionários, garantindo que as intervenções atuassem sobre os principais problemas identificados no ambiente interno, mesmo reconhecendo que algumas delas podem implicar aumento do consumo para atender às exigências mínimas de conforto e da qualidade do ar. As simulações permitiram avaliar o impacto de cada medida isoladamente e de suas combinações sobre o consumo de energia.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise inicia pelos dados das faturas de energia, seguindo pelas etapas de auditoria energética, passando pela avaliação da qualidade do ambiente interno, e finalizando com os cenários de eficiência energética.

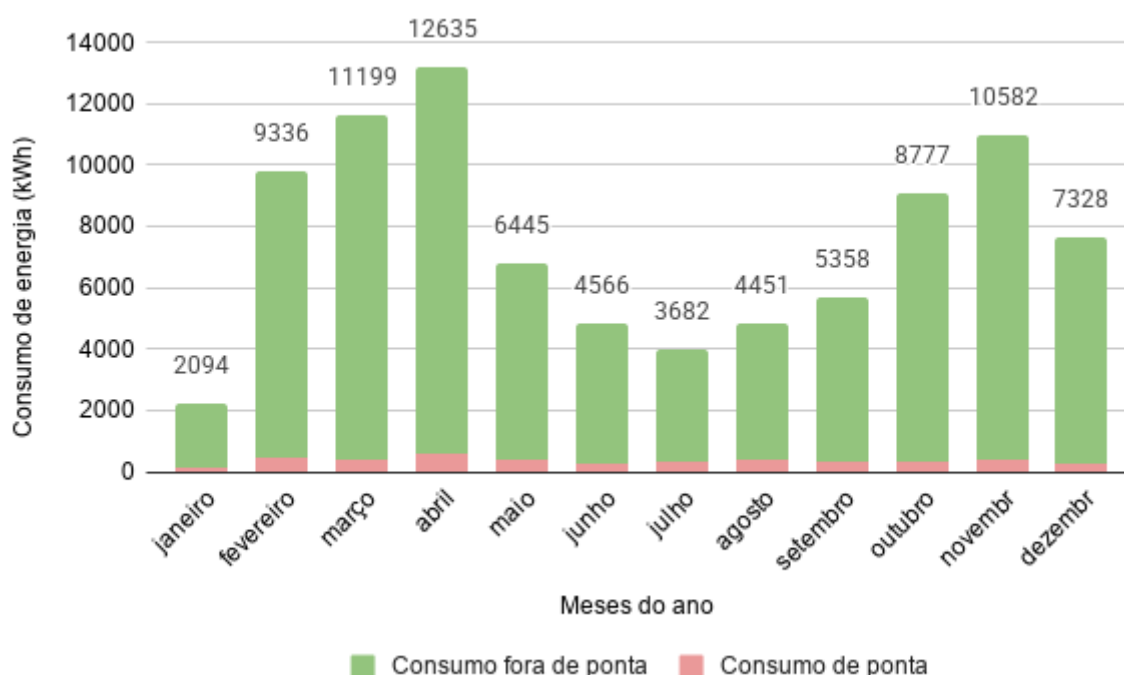
4.1. AUDITORIA ENERGÉTICA

4.1.1. Faturas de energia

As faturas de energia do ano de 2024 (Figura 28) indicaram um consumo anual de 90.709,94 kWh ou 29 kWh/m².ano, com maior consumo nos meses de março (11.605,00 kWh) e abril (13.200,00 kWh), e menor consumo nos meses de junho (4863,46 kWh), julho (4018,55 kWh) e agosto (4823,82 kWh), como indicado na Figura 31. Geraldi *et al.* (2021) indicaram para escolas de múltiplos edifícios no estado de Santa Catarina um consumo de 62 kWh/m².ano, valor bastante superior ao consumo do presente estudo.

Observa-se também que o consumo no horário fora de ponta (21:30 às 18:30) é significativamente maior do que o consumo no horário de ponta (18:30 às 21:30), o que se explica pelo período de maior ocupação da escola, das 08:00 às 17:00.

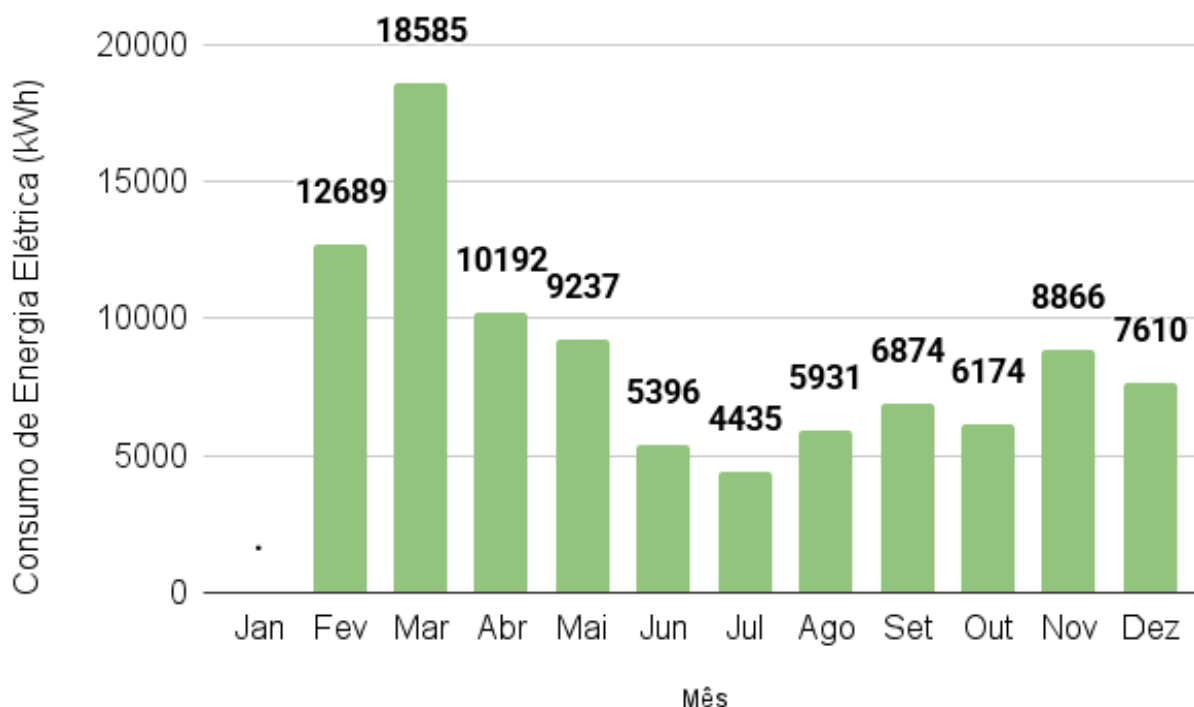
Figura 28 - Consumo de energia elétrica mensal (kWh) (2024)



Fonte: Elaborado pela autora.

Segundo o Projeto Cidades Eficientes, o consumo anual da unidade escolar em 2023 foi de 95.989 kWh, sendo os dados mensais apresentados na Figura 29. Nesse ano, a escola analisada ocupou a 4ª posição no ranking de maior consumo de energia em kWh dentro do levantamento realizado pelo projeto. Diante desse cenário, torna-se relevante avaliar se esse consumo está relacionado a condições ambientais adequadas ao funcionamento escolar.

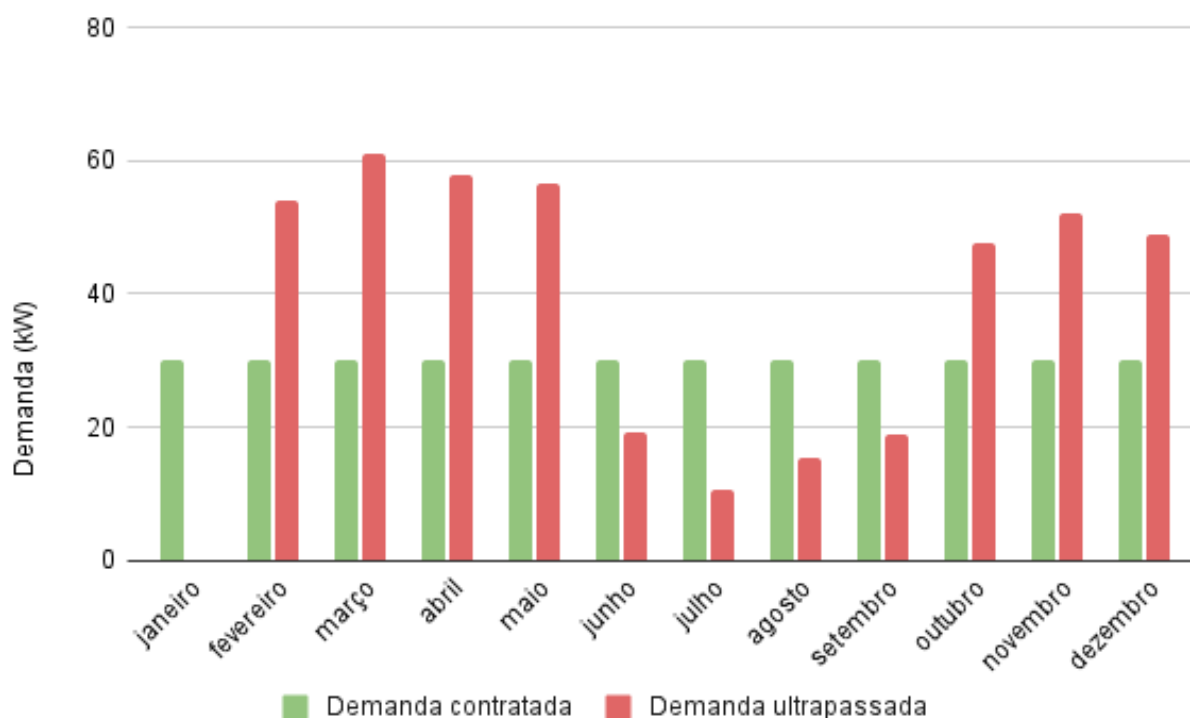
Figura 29 - Consumo de energia elétrica mensal (kWh) (2023) - Projeto Cidades Eficientes



Fonte: Adaptado de Projeto Cidades Eficientes (2023)

Outro aspecto relevante observado nas faturas de energia refere-se à demanda contratada, que é o limite de potência elétrica que a concessionária disponibiliza à unidade consumidora, e à demanda ultrapassada, que corresponde ao valor de consumo que excede esse limite. A análise das faturas de energia de 2024 da unidade escolar evidencia que a demanda registrada em diversos períodos ultrapassa a demanda contratada, muitas vezes de forma significativa, chegando a valores aproximadamente duas vezes superiores ao limite contratado, o que indica que a potência elétrica disponibilizada pela concessionária não atende aos picos de consumo da escola. Com exceção de janeiro, mês sem ocupação, a demanda ultrapassada representa entre 25% e 70% da demanda contratada, com os maiores percentuais observados em fevereiro, março, abril, maio, outubro, novembro e dezembro. Essa situação evidencia que a escola apresenta picos de consumo concentrados, especialmente durante os períodos de calor, e que a demanda contratada está subdimensionada em relação às necessidades reais, resultando em custos adicionais por ultrapassar o limite de potência contratada (Figura 30).

Figura 30 - Demanda contratada e ultrapassada (2024)



Fonte: Elaborado pela autora

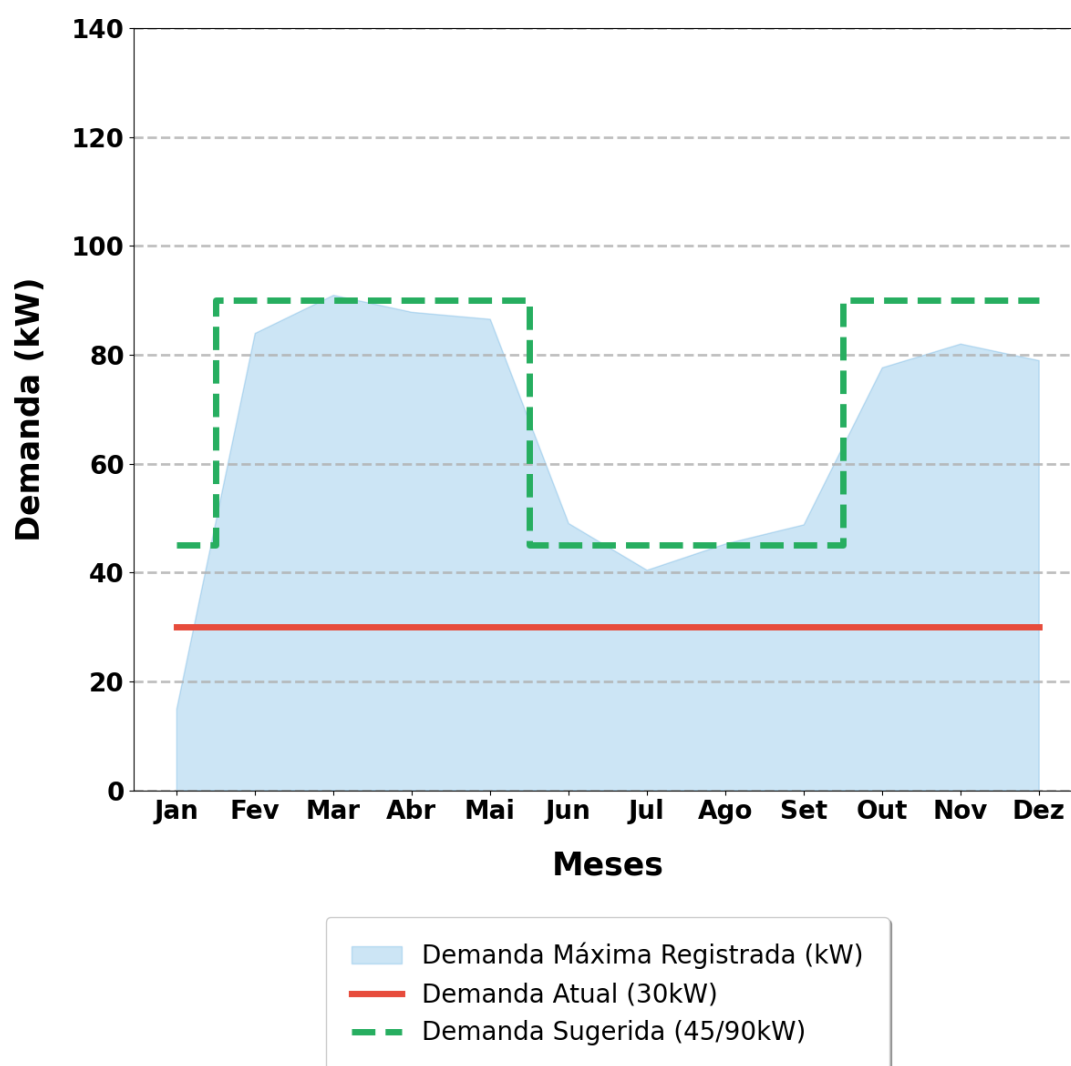
A demanda de energia contratada é de 30 kW em todos os meses, apesar disso é visível na escola uma variação sazonal de consumo, com meses mais quentes com consumo maior e meses mais frios com consumo menor. Em 2024, a demanda ultrapassada gerou multas no valor de R\$ 19.516,02, correspondendo a 22% do total faturado no ano. O maior pico de consumo, considerando a demanda contratada somada à demanda ultrapassada, ocorreu em março, alcançando 91 kW.

A partir de uma análise teórica dos dados de 2024, foi estimada uma economia líquida anual de R\$ 8.605,96, reduzindo o gasto anual de R\$ 88.734,86 para R\$ 80.128,9 caso se adotasse uma demanda contratada sazonal. Nesse cenário, a demanda contratada seria elevada para 90 kW nos meses de fevereiro, março, abril, maio, outubro, novembro e dezembro, eliminando multas por ultrapassagem, e para 45 kW nos meses de janeiro, junho, julho, agosto e setembro (Figura 31), diminuindo os custos com multas por demanda ultrapassada.

A tarifa de demanda considerada foi de R\$ 24,17960/kW, conforme registrado nas faturas da instituição. Essa avaliação indica que a adoção dessa

estratégia poderia proporcionar maior previsibilidade orçamentária, garantindo fornecimento energético adequado sem penalidades financeiras desnecessárias, sem que a medida tenha sido efetivamente implementada.

Figura 31 - Cálculo de demanda

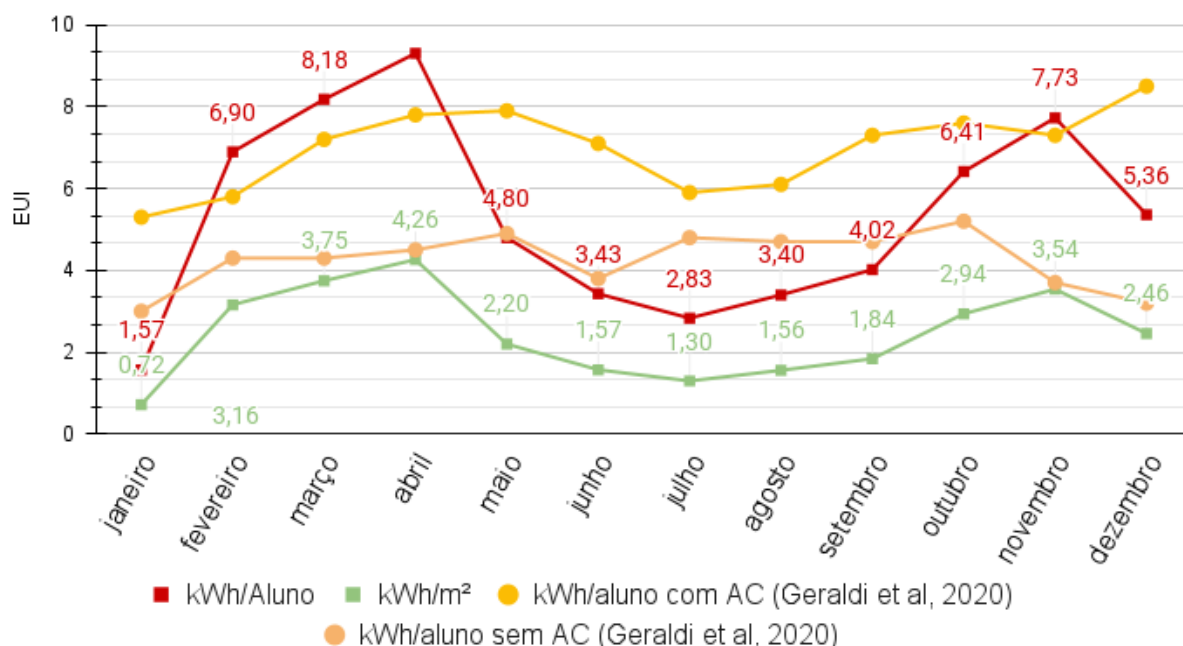


Fonte: Elaborado pela autora

A equipe escolar não tem acesso ou conhecimento dos valores das faturas de energia, que são administradas e pagas pela prefeitura municipal, a qual, em muitos casos, não dispõe de conhecimento aprofundado sobre a escola e suas necessidades específicas, uma vez que essa responsabilidade recai sobre a gestão escolar.

Para a análise de energia, o EUI foi calculado a partir da razão entre o consumo mensal de eletricidade da edificação (kWh) e a área útil total (m²), bem como pelo número total de alunos. Dessa forma, os resultados foram expressos em kWh/m²·mês e kWh/aluno·mês (Figura 32).

Figura 32 - EUI - Intensidade do uso de energia



Fonte: Elaborado pela autora

Nota: AC refere-se a ar-condicionado

As linhas mostram a relação entre o consumo de energia, expresso pelo EUI (*Energy Use Intensity*), e a sazonalidade. O EUI apresenta valores mais elevados nos meses de calor, devido ao consumo associado ao uso sistema de ar-condicionado, e mais baixos nos meses mais frios, quando o sistema de climatização não é utilizado.

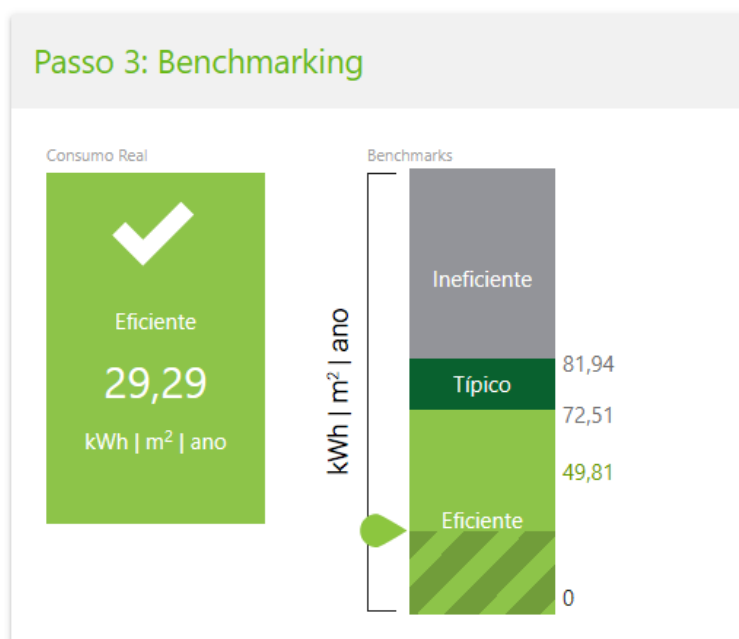
Ao comparar os resultados deste estudo, considerando 1.419 alunos, com os apresentados por Geraldi *et al.* (2020), notam-se algumas diferenças. O estudo de Geraldi *et al.* (2020) analisou escolas estaduais de todo o país, o que pode explicar as variações nos valores médios. Nos meses de temperaturas amenas, o consumo energético da escola analisada é inferior ao EUI médio de escolas sem ar-condicionado reportado por Geraldi *et al.* (2020). Em junho, por exemplo, a diferença atinge 1,97 kWh/aluno, sugerindo a provável ausência de uso do sistema

de climatização nesse período. Por outro lado, nos meses mais quentes, o consumo registrado supera o EUI médio para escolas com ar-condicionado identificado por Geraldi *et al.* (2020), indicando que o sistema da instituição estudada pode apresentar menor eficiência ou ser utilizado de forma mais intensiva, resultando em aumento significativo do consumo.

4.1.2. *Benchmarking* energético

Ao inserir os valores da fatura no indicador DEO (Desempenho Energético Operacional), a escola apresentou um consumo de 29,29 kWh/m².ano (Figura 33), indicando que se encontra dentro dos parâmetros de eficiência energética estabelecidos pela metodologia da plataforma. Considerando que o valor de referência inferior do *benchmarking* típico para edificações semelhantes, segundo o DEO, é de 72,51 kWh/m².ano, o consumo registrado demonstra uma eficiência aproximadamente 60% superior a esse parâmetro.

Figura 33 - *Benchmarking* energético na Plataforma DEO



Fonte: Adaptado DEO (2025)

4.1.3. Verificação do projeto arquitetônico

Para caracterizar o uso e ocupação do prédio, os espaços foram categorizados em tipos de ambientes, cada um com suas características distintas de cargas internas e ocupação. As categorias de ambientes definidas são: Administrativo, Área de Permanência Transitória (APT) (incluindo banheiros e depósitos), Sala dos Professores, Multimeios, Sala de Aula, Laboratório, Biblioteca, Área Comum, Quadras Esportivas, Auditório e Cozinha (incluindo lavanderia). A Tabela 2 apresenta a área total de cada tipo de ambiente.

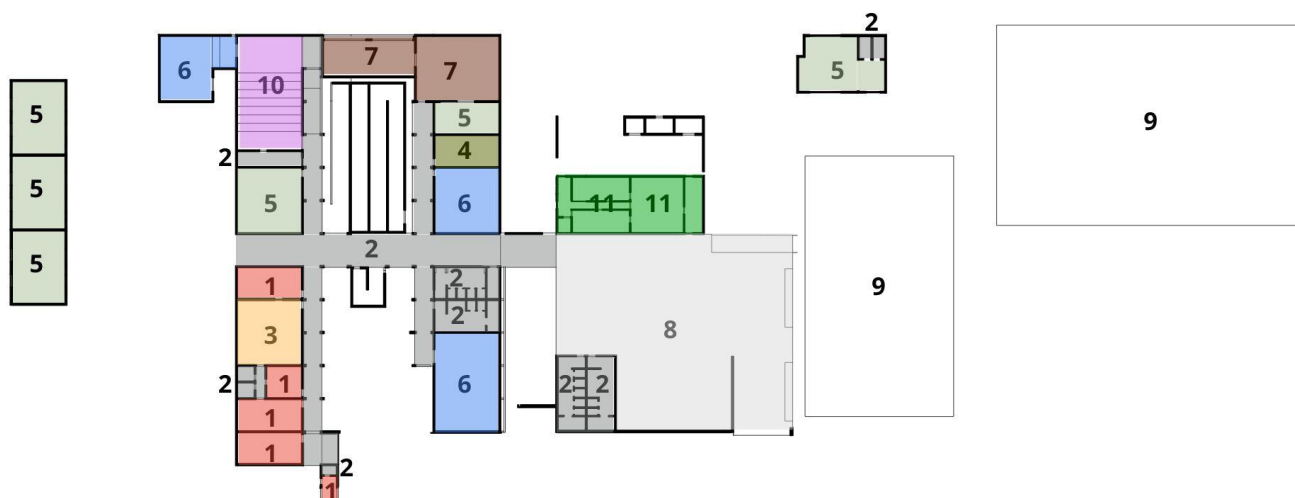
Tabela 2 - Categorização dos ambientes e área total

Código	Tipo do ambiente	Área total (m²)
1	Administrativo	205,54
2	APT (Bwc/depósito)	1096,85
3	Sala dos professores	48,31
4	Multimeios	29,93
5	Sala de aula	1016,24
6	Laboratório	104,52
7	Biblioteca	147,29
8	Área comum	598,97
9	Quadras esportivas	737,68
10	Auditório	23,63
11	Cozinha	374,14

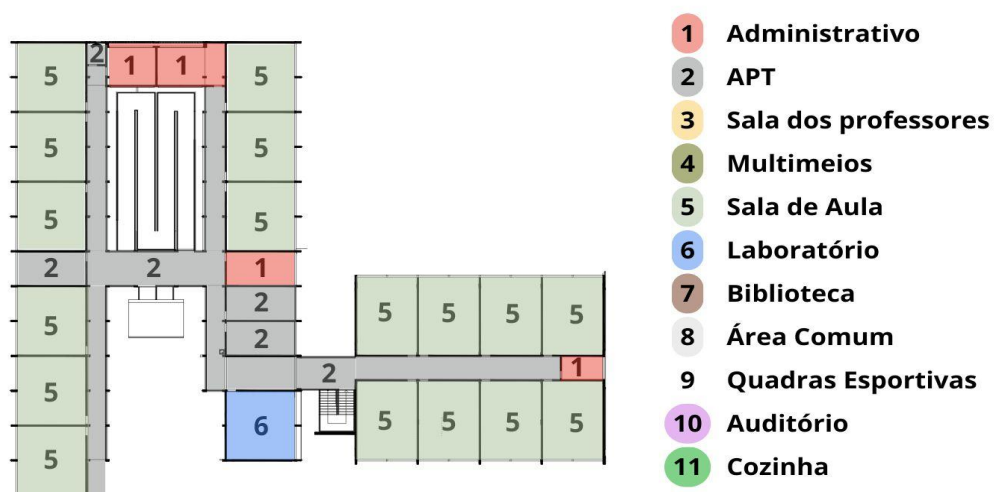
Fonte: Elaborado pela autora

Após as atualizações em planta, o projeto foi simplificado por meio da limpeza da planta baixa, mantendo-se apenas a delimitação externa da envoltória e as divisórias internas (Figura 34). O arquivo simplificado resultante, ao apresentar a configuração física e classificar todos os espaços da edificação, facilitou a associação de informações específicas sobre os padrões de uso e de consumo energético.

Figura 34 - Planta Baixa com indicação das categorias de ambiente



(a) Planta Baixa do pavimento térreo



(b) Planta Baixa do pavimento superior

Fonte: Elaborado pela autora

As áreas de permanência prolongada (administrativo, salas de aula, laboratórios e cozinha) correspondem a 38,93% da área útil total. A sala dos professores foi separada devido à presença de equipamentos como refrigeradores, micro-ondas e cafeteira. Por sua vez, a sala Multimeios foi categorizada à parte por apresentar uso diferenciado, sendo tipicamente um espaço destinado a atividades diversas que requerem recursos audiovisuais e tecnológicos. A área comum refere-se ao espaço do refeitório, mas também conta com mesa de ping-pong, tornando-se um espaço de convivência livre da escola. A biblioteca apresenta um

padrão de uso específico em comparação com outras categorias de ambiente. Apesar de ser um espaço de dimensões maiores que as salas de aula, é frequentada por um número menor de alunos ao longo da semana, resultando em uma densidade de ocupação relativamente baixa.

A investigação dos materiais e das tecnologias construtivas da edificação foi realizada por meio de inspeção visual, anotações e registros fotográficos. Verificou-se que as paredes, tanto externas quanto internas, do prédio principal (Blocos A e B) são construídas em alvenaria de tijolo. O revestimento externo consiste em pintura colorida na fachada principal e pintura laranja clara nas demais fachadas. A estrutura é complementada por lajes de concreto maciço e por uma cobertura de telha de fibrocimento. As propriedades térmicas destes materiais foram posteriormente consultadas na biblioteca de componentes construtivos (Schlichting *et al.*, 2025) e apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Componentes construtivos para o modelo de simulação computacional.

Elemento	Material	Espessura (cm)	Transmitância - U [W/(m²K)]	Capacidade Térmica - CT [kJ/(m²K)]
Laje	Concreto maciço	10	3,45	312,4
	Contrapiso	3		
	Piso cerâmico	1		
Paredes	Argamassa interna	2,5	2,17	91,44
	Bloco cerâmico (9.0 x 14.0 x 24.0 cm) - 6 furos	9		
	Argamassa externa (2.5 cm)	2,5		
Cobertura	Laje maciça	10	2,17	250,75
	Câmara de ar	25		
	Telha de fibrocimento	0,8		
Piso salas bloco C	Laje pré-moldada	12	2,35	208,10
	Contrapiso	3		
	Piso cerâmico	1		

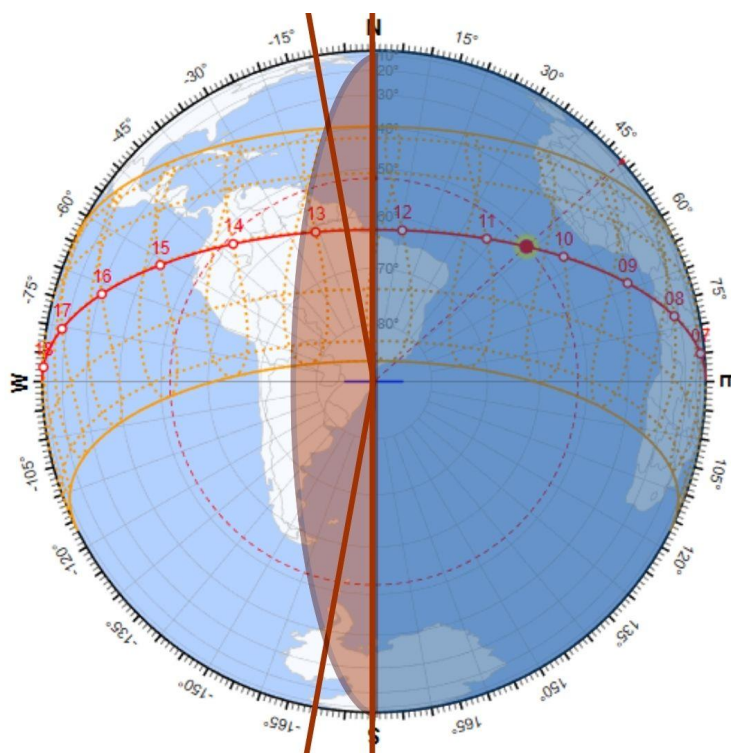
Elemento	Material	Espessura (cm)	Transmitância - U [W/(m²K)]	Capacidade Térmica - CT [kJ/(m²K)]
Paredes salas bloco C	Placa de gesso	1,25	0,39	28,05
	Lã de vidro	10		
	Placa de gesso	1,25		
Cobertura salas bloco C	Forro de gesso	1,5	0,65	17,5
	Câmara de ar	25		
	Telha metálica	4,2		

Fonte: Adaptado de SCHLICHTING *et al.* (2025).

As janelas da edificação apresentam variações tipológicas, mas compartilham as mesmas especificações de material. Os banheiros contam com janelas basculantes, enquanto a maioria dos espaços utiliza janelas de correr. Todas as esquadrias são dotadas de caixilhos metálicos e de vidros simples de 4 mm de espessura. As portas são em madeira.

As fachadas se beneficiam do autosombreamento proporcionado por seus elementos estruturais (pilares, laje técnica e beiral). O sombreamento é caracterizado por um ângulo de sombreamento vertical (pilares) de 10° e um ângulo de sombreamento horizontal (laje técnica) de 75° (Figura 35). Embora esses elementos contribuam para reduzir a incidência solar direta, seu desempenho é insuficiente, fornecendo proteção apenas durante o primeiro horário da tarde em todas as estações do ano.

Figura 35 - Máscara de sombreamento para a sala de aula 2



Fonte: Adaptado de Marsh (2025)

4.1.4. Equipamentos elétricos e sistemas de iluminação

Para o levantamento dos equipamentos elétricos, dos sistemas de iluminação e dos condicionadores de ar, uma tabela foi elaborada no Google Planilhas. Essa tabela registrou, para todos os ambientes da escola, informações como potência, marca, modelo e quantidade de todos os itens consumidores de energia, incluindo iluminação, climatização, cargas de tomada, aquecimento de água, geladeiras, *freezers* e outros (Apêndice A).

O levantamento do sistema de iluminação totalizou 409 lâmpadas instaladas, onde apenas uma delas ainda era do tipo fluorescente. A Tabela 4 apresenta o resumo deste levantamento.

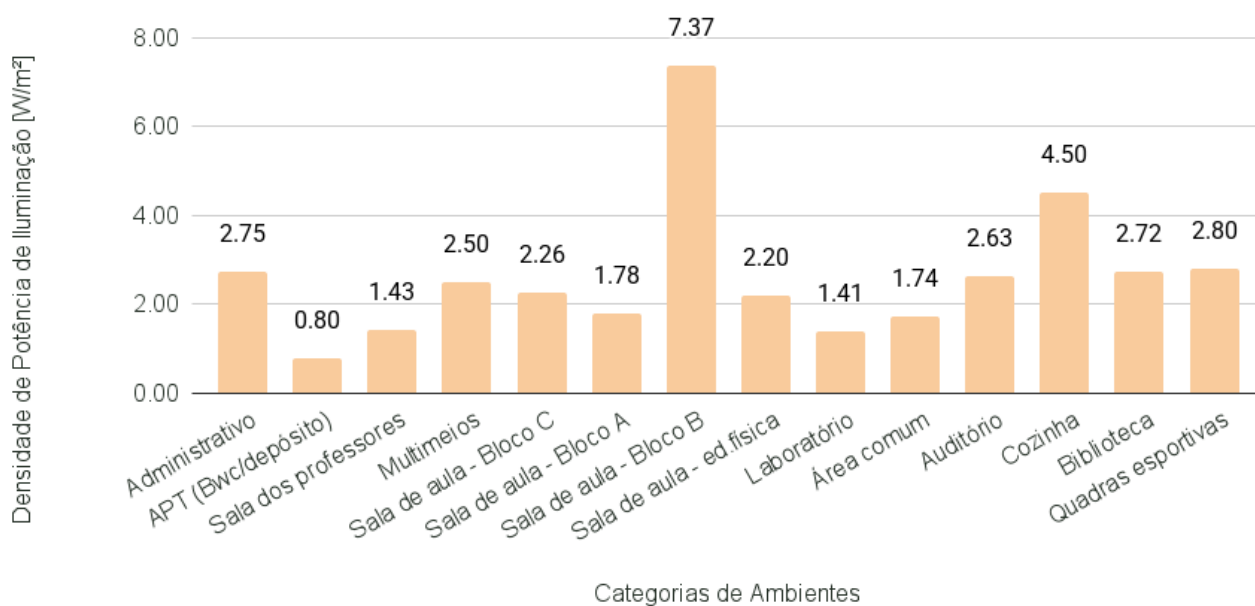
Tabela 4 - Levantamento do sistema de iluminação

Tipo de lâmpada	Quantidade	Potência [W]
Lâmpada LED	13	12
Plafon LED	1	24
Lâmpada LED	178	17
Luminária tubular LED T8	46	18
Lâmpada LED	26	8,6
Luminária Tubular LED com 2 lâmpadas	72	40
Lâmpada fluorescente	1	36

Fonte: Elaborado pela autora.

As densidades de potência de iluminação (DPI) médias foram calculadas para cada categoria de ambiente (Figura 36). No entanto, observou-se uma diferença significativa na DPI das salas de aula por bloco, o que motivou uma análise segmentada. A DPI média das salas de aula do Bloco A é de 1,78 W/m² e a do Bloco C é de 2,26 W/m². O Bloco B, contudo, apresentou uma DPI superior, com 7,37 W/m². Essa discrepância é explicada pela tecnologia de iluminação empregada: o Bloco B utiliza luminárias com duas lâmpadas de 20 W, enquanto o Bloco A possui lâmpadas de LED comuns e o Bloco C emprega Lâmpadas Tubulares LED T8. De maneira geral, as Densidades de Potência de Iluminação (DPIs) encontradas são significativamente inferiores aos valores estabelecidos pelas normas técnicas. Tal constatação é confirmada pela DPI média total da escola, que é de apenas 2,99 W/m²).

Figura 36 - Densidade de potência de iluminação (DPI) por categoria de ambiente



Fonte: Elaborado pela autora

Os equipamentos consumidores de energia identificados na unidade escolar são descritos na Tabela 5.

Tabela 5 - Levantamento dos equipamentos

Equipamento	Quantidade	Potência [W]
LG 22V24 computador all-in-one	24	19
Impressora HP SMART TANK 580	2	3023
Telefone intelbras V5501	4	3
CPU DELL - OPTIPELX 3070	4	40
Tela Dell P2319Hc	5	16
Impressora Epson l350	2	3,5
Cafeteira Cadence - Urban Pop	1	750
Som EDIFIER - Modelo EDF100024	1	42
Notebook - LATITUDE3400	24	30
Projektor Benq DLP - SVGA	1	240

Equipamento	Quantidade	Potência [W]
PROJETOR EPSON 3LCD	1	354
Tela - duex modelo dxm190c	1	15
Impressora - epson l3250	2	4,5
Estabilizador - /enermaxi solamax t500 autom. PN 500w	1	500
Projeto - Epson Power Light x39	18	326
Bebedouro - acqua gelata modelo pre 200	2	100
Impressora Hp ink Advantage 2546	1	10
Liquidificador	1	360
Impressora- Kyocera ecosys ma5500ifx	1	56,4
Estufa folha - menno	1	14
Processador Elétrico - skymesen - PA-7LE-N	1	373
Suqueiro - Spolu	1	180
Buffet venancio 6	1	200
Tela camera	1	30
Servidor Cameras	1	10
Caixas de som	4	42
Mesa de som - WATTISON AMBW8 PROFESSIONAL AUDIO/STORM 1800	1	30
CPU	2	35

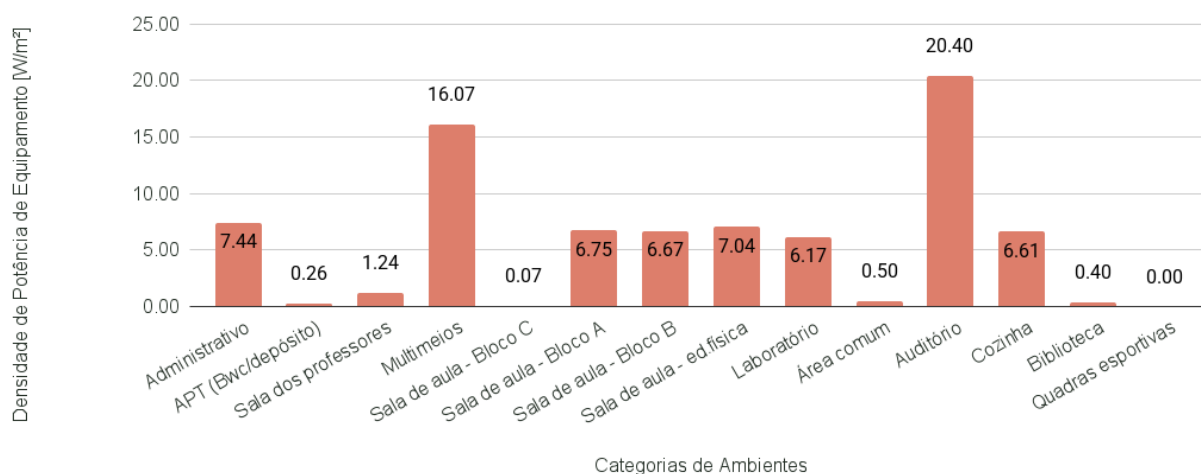
Fonte: Elaborado pela autora.

A densidade de potência de equipamentos (DPE) média foi calculada por categoria de ambiente (conforme Figura 37), considerando exclusivamente as cargas de tomada (*plug loads*), como computadores, impressoras e retroprojetores e considerando a área da escola sem a soma da área das quadras. Refrigeradores e *freezers* foram tratados separadamente como cargas específicas. O valor médio geral de DPE encontrado para toda a edificação foi de 0,54 W/m². A maior concentração de DPE foi registrada nos seguintes ambientes:

- Auditório (20,40 W/m²): Este valor elevado é atribuído principalmente à estrutura de mesa de som e às caixas de som disponíveis no espaço.
- Sala de Multimeios (16,07 W/m²): A alta DPE é resultado da concentração de equipamentos (computadores, impressoras e projetor) em uma área relativamente reduzida.
- Cozinha e Lavanderia (6,61 W/m²): O valor é atribuído principalmente à presença de máquinas de lavar roupas e de demais eletrodomésticos da cozinha.

Diferentemente da análise de Densidade de Potência de Iluminação (DPI), as salas de aula apresentaram pouca variação de DPE entre os blocos. A única exceção notável foi o Bloco C, onde a DPE das salas foi ligeiramente menor devido ao fato de apenas uma sala neste bloco possuir um projetor.

Figura 37 - Densidade de potência de equipamentos (DPE) por categoria de ambiente

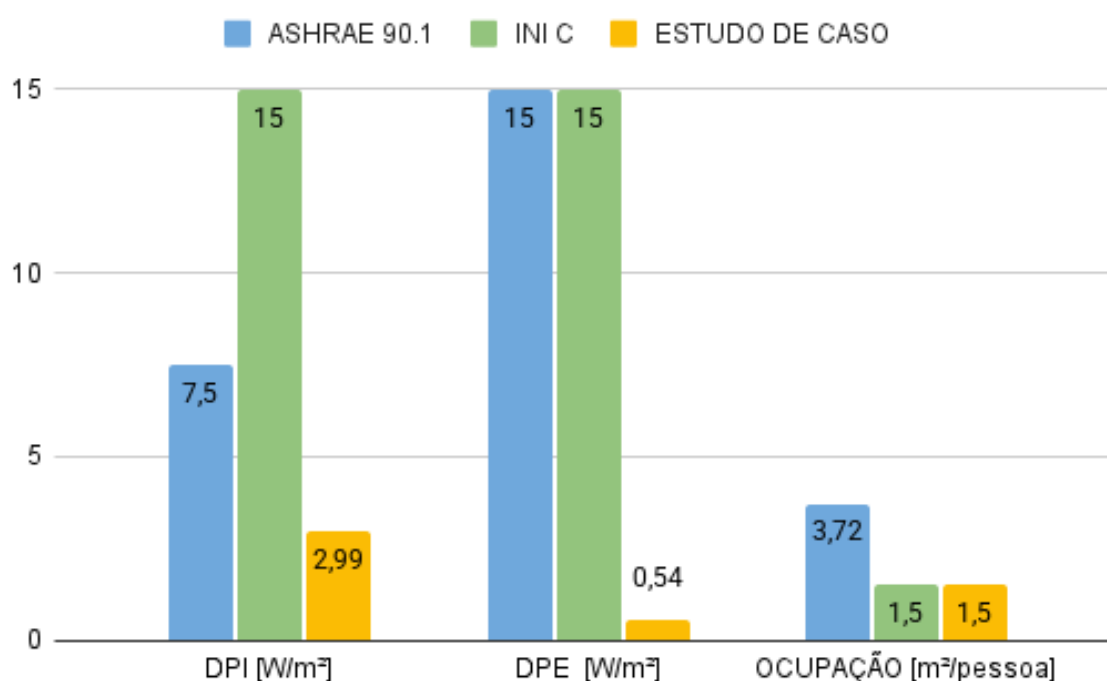


Fonte: Elaborado pela autora.

Ao comparar as cargas internas médias (DPI, DPE e ocupação) obtidas no estudo de caso com os parâmetros estabelecidos pela INI-C e pela ASHRAE 90.1 (BRASIL, 2018 e ASHRAE, 2022) (Figura 38), observa-se que o valor de DPI no estudo (2,99 W/m²) é cerca de 60% inferior ao recomendado pela ASHRAE 90.1 (7,5 W/m²) e aproximadamente 80% inferior ao indicado pela INI-C (15 W/m²). De forma semelhante, a DPE do estudo (0,54 W/m²) apresenta uma redução de

aproximadamente 96% em relação aos valores de referência. Quanto à ocupação, o estudo (1,5 pessoas/m²) está em concordância com a INI-C, embora seja inferior à taxa sugerida pela ASHRAE 90.1 (3,72 pessoas/m²). Esses resultados indicam que as cargas internas de equipamentos e de iluminação do estudo de caso são significativamente menores do que as referências, enquanto a ocupação se mantém dentro do parâmetro estabelecido pela INI-C.

Figura 38 - Comparação entre as cargas internas



Fonte: Elaborado pela autora

Esse fator pode ter contribuído para que o *benchmarking* do DEO classificasse a instituição como eficiente, em razão das baixas cargas internas observadas. Entretanto, é necessário verificar se a densidade de potência de iluminação disponível atende aos níveis de iluminância recomendados para ambientes escolares. A partir disso, foi realizado um levantamento de iluminância para comparar os níveis existentes com os parâmetros normativos e avaliar a qualidade real do ambiente interno, cujos resultados serão apresentados na seção de qualidade do ambiente interno.

O estudo de Srinivasan *et al.* (2011) analisou as densidades de carga de equipamentos em escolas de ensino fundamental e médio. Esse estudo identificou que a densidade de carga de equipamento média em salas de aula sem computadores varia entre 0,29 e 5,92 W/m², faixa que abriga o valor encontrado neste estudo de caso, em que as salas de aula também não possuem computadores.

No levantamento dos equipamentos de refrigeração, foram identificadas 11 unidades, incluindo cinco refrigeradores/geladeiras (dois refrigeradores e três geladeiras) e quatro freezers, sendo dois convencionais e dois industriais. A Tabela 6 apresenta a descrição e os dados das etiquetas de cada equipamento, enquanto a Figura 39 apresenta imagens dos refrigeradores.

Tabela 6 - Levantamento de geladeiras, refrigeradores e freezers

Descrição	Ambiente	Quantidade	Etiqueta
Refrigerador Consul	Sala dos professores	1	-
Geladeira Consul CRD	Sala dos professores	1	A
Refrigerador - Electrolux RFE 38	Laboratório	1	A
Geladeira Consul - crm39 - 49.1kwh/mês	Cozinha	1	A
Geladeira Consul - Crm43 - 55.8kwh/mês	Cozinha	1	A
Freezer consul	Cozinha	3	C
Freezer	Cozinha	1	-
Freezer industrial	Cozinha	2	C

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 39 - Freezers e Geladeiras



(a) Cozinha

Fonte: Elaborado pela autora.



(b) Sala dos professores

Os aparelhos de climatização identificados estão apresentados na Tabela 7. A maioria apresenta classificação energética A. Contudo, alguns modelos são mais antigos e foram posteriormente excluídos da lista de etiquetagem do INMETRO, sendo destacados com um asterisco (*). Outros três não possuíam etiqueta.

Tabela 7 - Levantamento dos condicionadores de ar

Equipamento/ Modelo	Capacidade	Quantidade	Etiqueta	Coefficiente de Eficiência Energética (CEE)	IDRS
Ar-condicionado Gree GWC09QB-D3NN B4B/I	9000	1	A	3,24	-
Ar-condicionado Gree GWH12QC-D3NN B4A/I	12000	2	A	-	3,24
Ar-condicionado TCL TAC-24CHSA1	24000	8	E	-	3,58

Equipamento/ Modelo	Capacidade	Quantidade	Etiqueta	Coefficiente de Eficiência Energética (CEE)	IDRS
Ar-condicionado Gree GWC24QE-D3DN B8M	24000	1	-	3,24	-
Ar-condicionado Gree GWH12AAB-D3NN A1D/I	12000	1	E	-	3,91
Ar-condicionado Elgin 45HFE12B2NA	12000	1	*A	3,24	-
Ar-condicionado agratto ECS30QFR4-02	30000	1	*A	3,28	-
Ar-condicionado Gree GWC30QE-D3NN B4B	30000	1	*A	3,28	-
Ar-condicionado ECOBLU EBI30QF	30000	3	*A	3,24	-
Ar-condicionado Elgin HLQI30B2FA	30000	16	A	3,24	-
Ar-condicionado MIDEA 42MLQC30M5	30000	2	*C	3,11	-

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota: *Excluído da lista do INMETRO

Além dos condicionadores de ar, foram identificadas 27 unidades de ventiladores, das quais 25 são modelos de parede. Entre estes, destacam-se: 19 unidades do ventilador de parede VOP 50 cm STEEL (127/220 V, 3,10 kWh/mês); 1 unidade do Ventilador Delta 50 Premium (127 V, 5 kWh/mês); 1 unidade do Ventisol INDI VON Turbo Economy 40 cm (220 V, 1,83 kWh/mês); 2 unidades do Ventisol VOP 60 MX; e 1 unidade do Ventilador Ventisol (4,29 kWh/mês). Além disso, foram identificadas 2 unidades de ventiladores de teto. Os ventiladores e os equipamentos condicionadores de ar foram considerados na categoria “climatização”.

Figura 40 - Imagem ventilador de parede

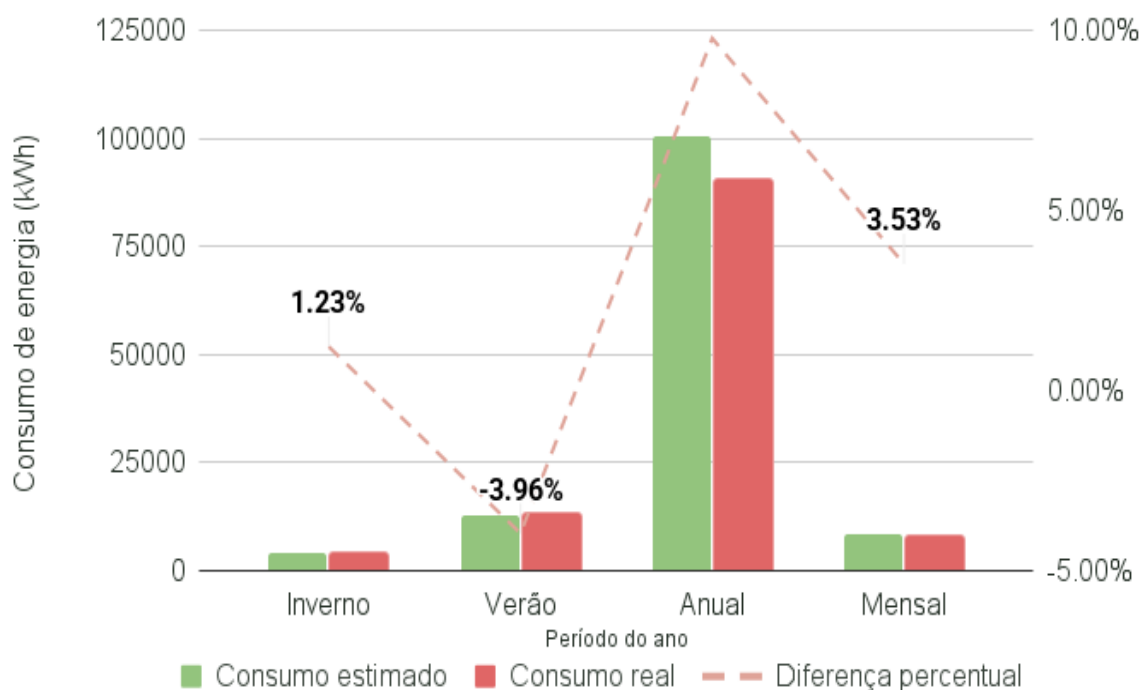


Fonte: Elaborado pela autora.

4.1.5. Estimativa do consumo de energia

A comparação entre os valores estimados e os valores reais é apresentada na Figura 41, na qual se observa a maior diferença percentual no consumo anual, de 9,8%, indicando que o consumo real foi inferior ao estimado. Isso ocorre em função da forma como a estimativa foi realizada: para a estimativa anual, foram consideradas as estimativas de verão e inverno, multiplicando cada uma por seis, enquanto o valor mensal foi obtido dividindo esse total por doze. Dessa forma, o valor mensal corresponde à média entre os consumos estimados de verão e inverno, enquanto o valor anual representa a soma desses consumos ao longo de doze meses, o que tende a amplificar diferenças entre estimativa e consumo real. Diferente de uma simulação computacional, essa estimativa não consegue refletir a agenda de operação correta da edificação, sendo uma forma mais simplificada de aproximar o consumo energético.

Figura 41 - Comparação entre consumo de energia estimado e real

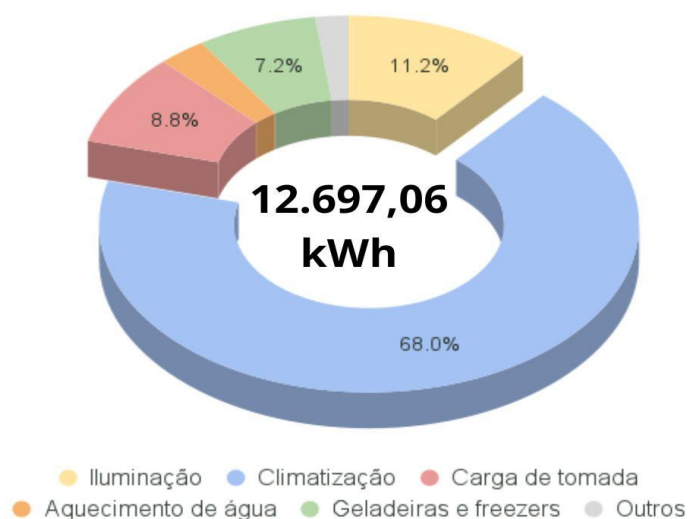
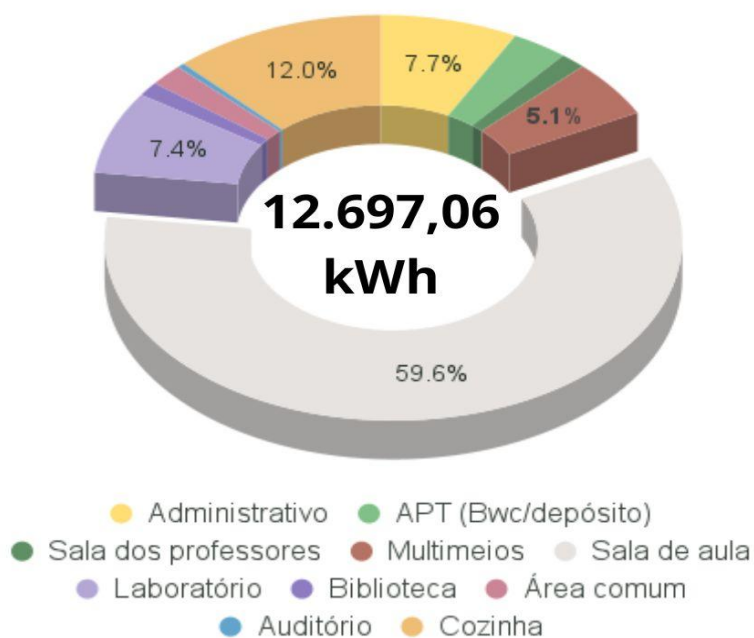


Fonte: Elaborado pela autora.

A partir da separação dos ambientes e dos sistemas consumidores de energia realizada durante a auditoria, foi possível estimar a participação percentual do consumo de energia por tipo de ambiente e por tipo de sistema, tanto no verão quanto no inverno.

No verão (Figura 42), as salas de aula apresentam o consumo mais significativo, totalizando 7.571,18 kWh, o que corresponde a 59,6% do consumo total. Esse resultado se deve ao uso intenso de aparelhos de ar-condicionado, considerando que as salas são áreas de permanência prolongada e ocupam 23,2% da área útil total da escola. O segundo maior consumo ocorre na cozinha, que inclui a lavanderia, com 1.521,38 kWh (12% do consumo total), principalmente devido ao funcionamento dos refrigeradores, das máquinas de lavar roupa, da torneira com aquecimento de água e de outras cargas de tomada.

Figura 42 - Consumo de energia - verão

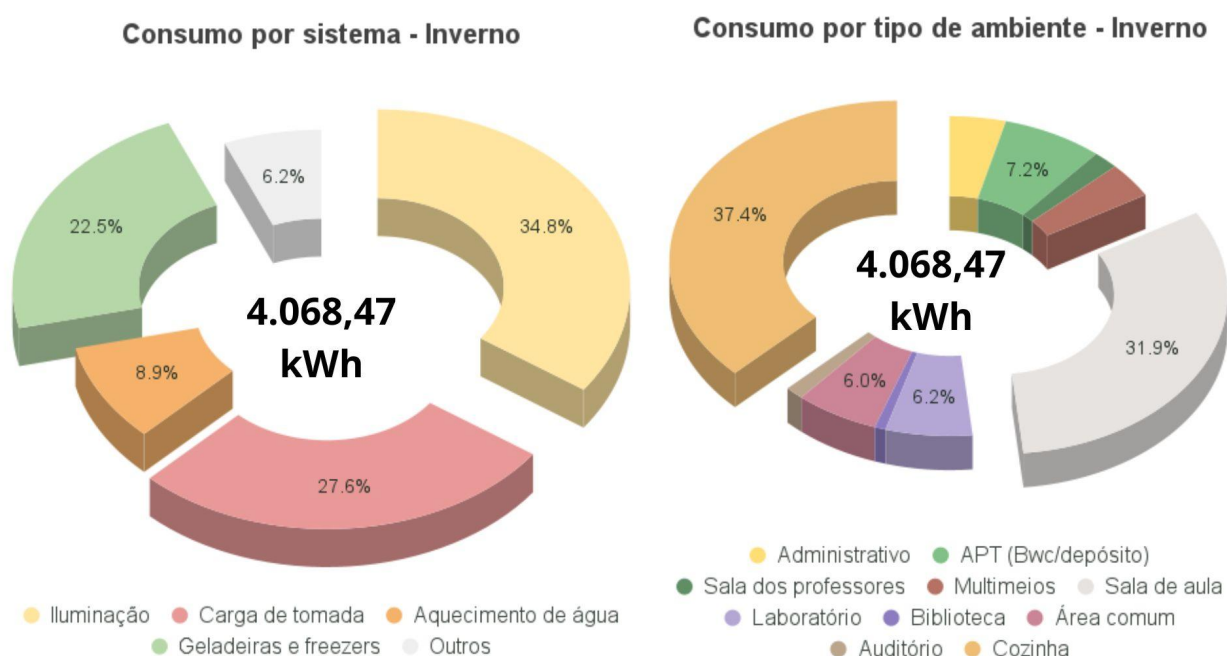
Consumo por sistema - Verão**Consumo por tipo de ambiente - verão**

Fonte: Elaborado pela autora.

No período de inverno (Figura 43), o maior consumo de energia é observado na cozinha, que corresponde a 37,4% do consumo total, correspondente a 1.521,38

kWh. Em seguida, as salas de aula concentram 31,9% do consumo, totalizando 1.296,28 kWh. A predominância do consumo na cozinha está associada à operação contínua e significativa de equipamentos como refrigeradores, freezers, máquinas e demais cargas de tomada. Sob a ótica dos sistemas ou tipos de carga, a iluminação apresenta a maior participação no consumo energético (34,8%), seguida pelas cargas de tomada (27,6%). Em terceiro lugar, destacam-se os refrigeradores e freezers, responsáveis por 22,5% do consumo total.

Figura 43 - Consumo de energia - Inverno

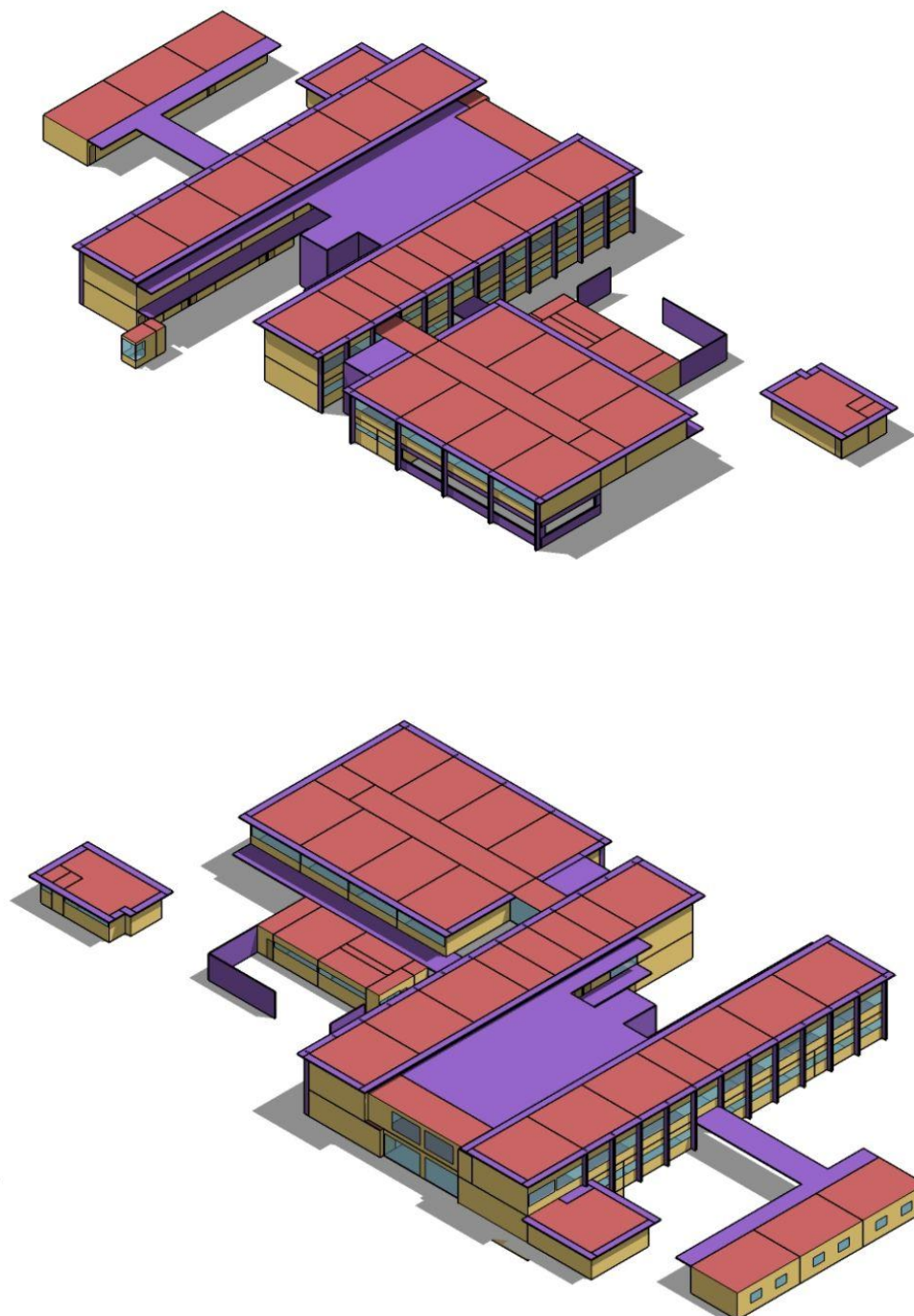


Fonte: Elaborado pela autora.

4.1.6. Calibração do modelo energético

A envoltória do edifício foi configurada de acordo com as características reais da edificação, e todas as definições do modelo basearam-se nos dados coletados durante as etapas de auditoria energética e de avaliação da Qualidade do Ambiente Interno (QAI). A figura 44 apresenta o modelo de simulação de energia.

Figura 44 - Modelo de simulação de energia



Fonte: Elaborado pela autora

Para cada categoria de ambiente (administrativo, áreas de permanência transitória, sala dos professores, multimeios, salas de aula, laboratórios, biblioteca,

auditório e cozinha), foram definidos padrões específicos de uso relacionados à ocupação, iluminação, equipamentos e disponibilidade dos sistemas de climatização. As agendas de operação foram elaboradas com base no calendário escolar de 2024, complementadas por observações em campo e pelos levantamentos realizados ao longo da pesquisa.

O processo de calibração envolveu o ajuste de variáveis que influenciam o consumo energético da edificação. As cargas internas referentes à densidade de potência de iluminação (DPI), à densidade de potência de equipamentos (DPE) e à ocupação foram definidas com base nos valores levantados na auditoria energética.

Para a definição da carga térmica proveniente da ocupação adotou-se uma taxa metabólica de 1,2 MET, correspondente a estudantes sentados em atividade leve de escrita, conforme recomendado pela ABNT NBR 16401-2 (2024) e pela ASHRAE 55 (2023). Considerando que 1 MET equivale a $58,2 \text{ W/m}^2$, obteve-se uma taxa metabólica base de $69,84 \text{ W/m}^2$. Adicionalmente, foi realizado o ajuste da área de superfície corporal (ASC), conforme metodologia proposta por Teli; Jentsch; James (2012), uma vez que a carga térmica gerada por crianças é inferior à de adultos, devido às suas menores dimensões corporais. Para a ASC, adotou-se o valor de $1,22 \text{ m}^2$. Este valor fundamenta-se na média aritmética do intervalo de $1,16 \text{ m}^2$ a $1,29 \text{ m}^2$ identificado por Ter Mors *et al.* (2011) em estudos com estudantes do ensino fundamental.

O valor final inserido no campo *Activity Level* do programa de simulação foi obtido pelo produto entre a taxa metabólica normativa e a ASC ajustada, resultando em uma potência metabólica individual de 85 W. Dessa forma, melhorando a representação do ganho térmico interno.

O sistema de climatização foi modelado no programa *EnergyPlus* por meio do objeto *Ideal Loads Air System*, o qual permite estimar as cargas térmicas necessárias para a manutenção das condições internas de operação estabelecidas. A conversão da carga térmica total obtida pelo *Ideal Loads* em consumo de energia elétrica foi realizada a partir do Coeficiente de Eficiência Energética (CEE) dos equipamentos instalados. Adotou-se como referência o valor nominal de 3,24, correspondente ao modelo com maior representatividade no inventário do edifício

(Elgin HLQI30B2FA), representando 43% das unidades de condicionamento de ar existentes.

Considerando que os equipamentos operam em condições reais distintas das especificadas em catálogo, o CEE nominal foi ajustado para refletir a degradação de desempenho ao longo do tempo. Para isso, aplicou-se a metodologia proposta por Hendron (2006), assumindo-se uma idade média de 5 anos para os equipamentos, conforme informado pela equipe diretiva, e um fator de manutenção igual a 0,03, representativo de condições de baixa manutenção. Como resultado, obteve-se um coeficiente de eficiência ajustado (COP degradado) igual a 2,75, valor utilizado nas simulações para estimar o consumo elétrico do sistema de climatização, tornando os resultados mais compatíveis com as condições operacionais e com o estado de conservação dos equipamentos. O cálculo do COP degradado foi realizado conforme a Equação (3):

$$COP_{degradado} = COP_{nominal} \times (1 - M)^{Idade} \quad (3)$$

Em que:

$COP_{degradado}$ é o coeficiente de performance considerando a degradação do sistema de condicionamento de ar;

$COP_{nominal}$ é o coeficiente de performance de equipamentos novos;

M é o fator de manutenção, sendo 0,01 para equipamentos com boa manutenção e 0,03 para equipamentos com baixa manutenção;

Idade corresponde à idade do equipamento, em anos.

O *setpoint* de operação do sistema de condicionamento de ar foi definido com base na temperatura média interna medida em abril na Sala 2, igual a 23 °C. Essa sala foi selecionada por apresentar comportamento térmico representativo e por dispor de dados monitorados, permitindo que o setpoint adotado refletisse as condições reais de operação da edificação. Embora o valor nominal de ajuste dos equipamentos seja geralmente de 21 °C, as medições indicaram uma temperatura média efetiva de 23 °C, evidenciando a diferença entre o setpoint configurado e a temperatura de operação efetiva.

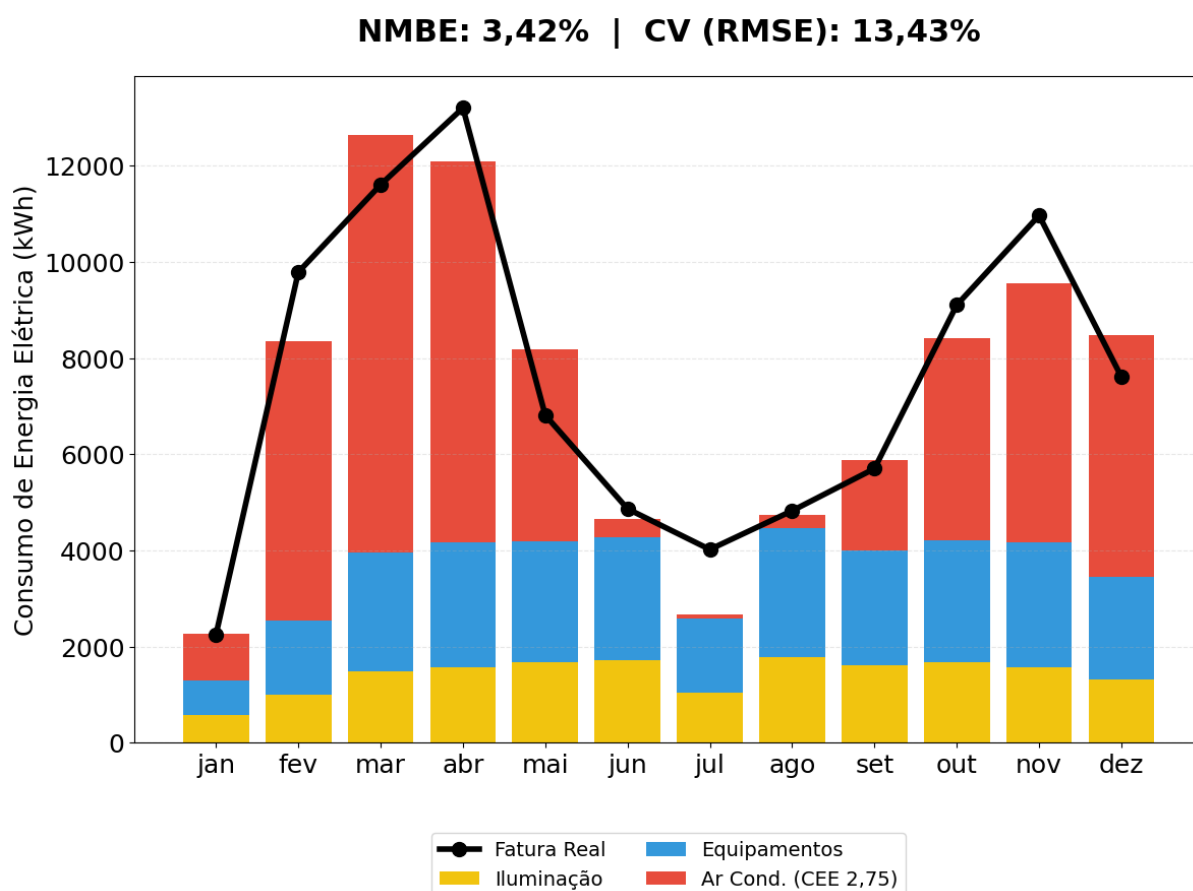
Também foram incluídas no modelo de energia cortinas internas com acionamento programado para quando a radiação solar incidente atinge 200 W/m^2 . A escolha deste setpoint fundamenta-se na revisão de Van Den Wymelenberg (2012) e em Yu *et al.* (2024) sobre a modelagem de comportamento de ocupantes. Adicionalmente, a circulação de ar foi modelada por meio do módulo AirflowNetwork (AFN) do *EnergyPlus*, permitindo a simulação dinâmica da abertura das janelas, vinculada à presença dos usuários e às condições térmicas.

Além disso, foram incorporadas ao modelo as cargas elétricas externas não associadas a zonas térmicas específicas, correspondentes ao consumo dos bebedouros e à iluminação das áreas externas (corredores e refeitório). Essa inclusão teve como objetivo aumentar a aderência entre o consumo de energia elétrica simulado e o consumo real da edificação.

Para que o modelo de simulação computacional fosse considerado validado, adotaram-se os limites de erro estabelecidos por guias internacionais. Nesta pesquisa, utilizou-se a ASHRAE *Guideline* 14 (2014), que define como critérios de aceitação um Erro Médio de Viés Normalizado (NMBE) inferior a $\pm 5\%$ e um Coeficiente de Variação do Erro Quadrático Médio (CV(RMSE)) inferior a 15%. A Figura 45 apresenta os resultados da calibração do modelo, nos quais o NMBE atingiu 3,42% e o CV(RMSE) 13,43%, ambos dentro dos limites recomendados, confirmando a adequação do modelo para as análises subsequentes.

Embora o modelo tenha atingido precisão anual, a análise mensal revelou flutuações sazonais. As maiores discrepâncias ocorreram em maio e julho. O desvio positivo em maio pode estar relacionado a uma utilização da ventilação natural na prática superior à prevista nas agendas térmicas. Já o resultado de julho pode ser reflexo do calendário acadêmico. Como o modelo considerou uso mínimo devido às duas semanas de férias, atividades eventuais não registradas na escola podem ter elevado o consumo real. Além disso, em meses de baixa carga térmica, a sensibilidade é maior, fazendo com que pequenas variações operacionais resultem em erros percentuais mais expressivos.

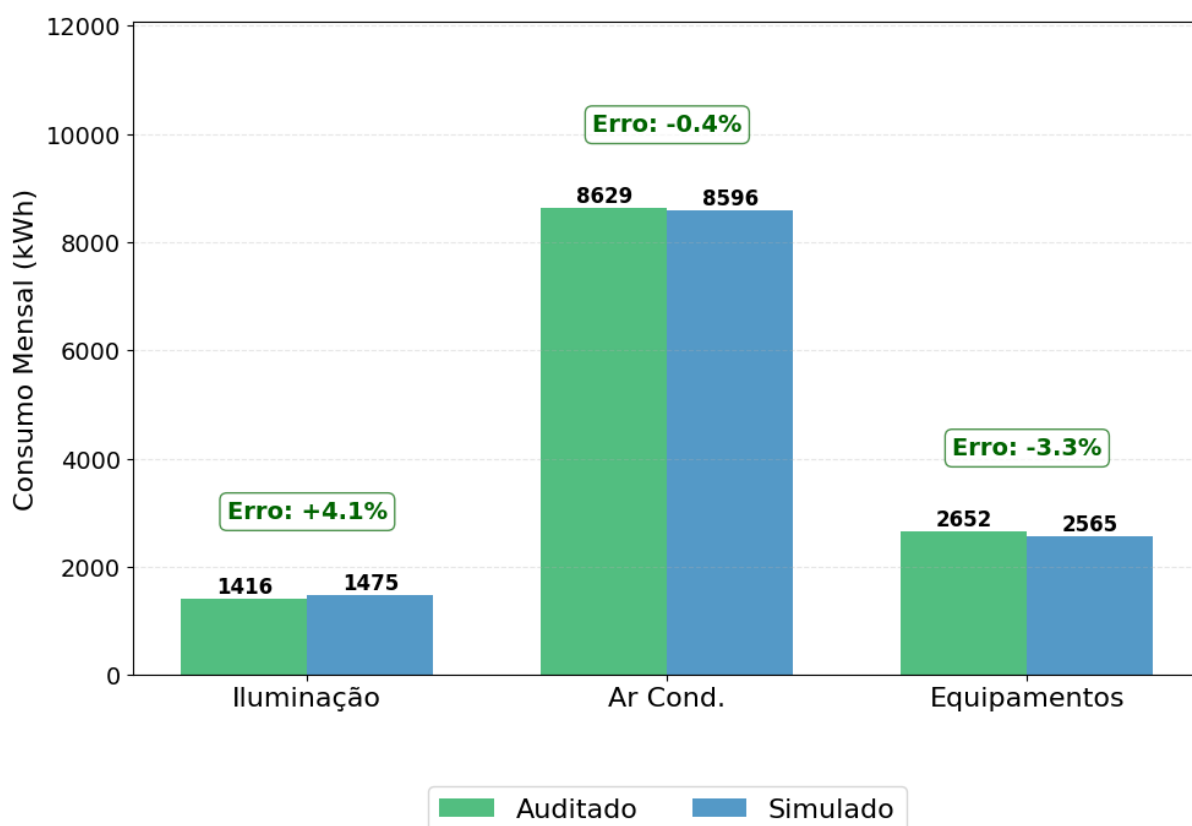
Figura 45 – Comparação entre os dados reais de faturamento e os resultados simulados



Fonte: Elaborado pela autora.

Adicionalmente à análise anual, realizou-se uma validação setorial focada especificamente no mês de março, comparando o consumo auditado em campo com os valores simulados dos sistemas de iluminação, do condicionamento de ar e dos equipamentos (Figura 46). Para este período, os resultados indicaram desvios de 4,1% para a iluminação, -0,4% para o condicionamento de ar e -3,3% para os equipamentos, atestando a precisão do modelo na distribuição das cargas energéticas internas. O destaque para o sistema de climatização, com erro inferior a 1% em março, confirma a assertividade na calibração do CEE (2,75), evidenciando que os parâmetros de eficiência adotados foram capazes de traduzir o real estado de conservação e operação dos equipamentos térmicos da edificação.

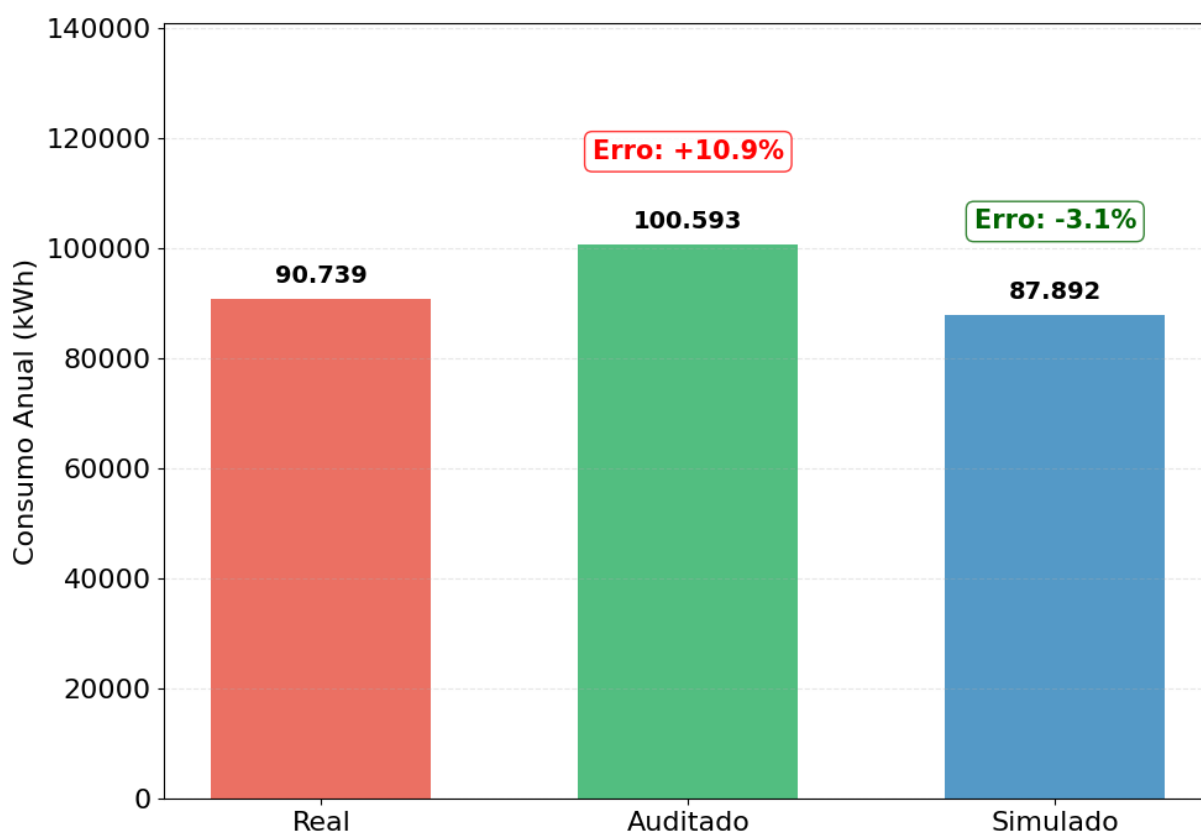
Figura 46 - Validação de cargas: auditado vs. simulado



Fonte: Elaborado pela autora.

Quanto ao consumo global anual da edificação, os resultados da auditoria energética apresentaram um desvio de +10,9% em relação às faturas reais. Por outro lado, o modelo de simulação demonstrou precisão superior, com erro de apenas -3,1% (Figura 47). Esse resultado comprova que o detalhamento das agendas de uso e operação, somado ao ajuste técnico do CEE, permitiu que o modelo representasse melhor o comportamento real do edifício.

Figura 47 - Comparação entre consumo real, auditado e simulado



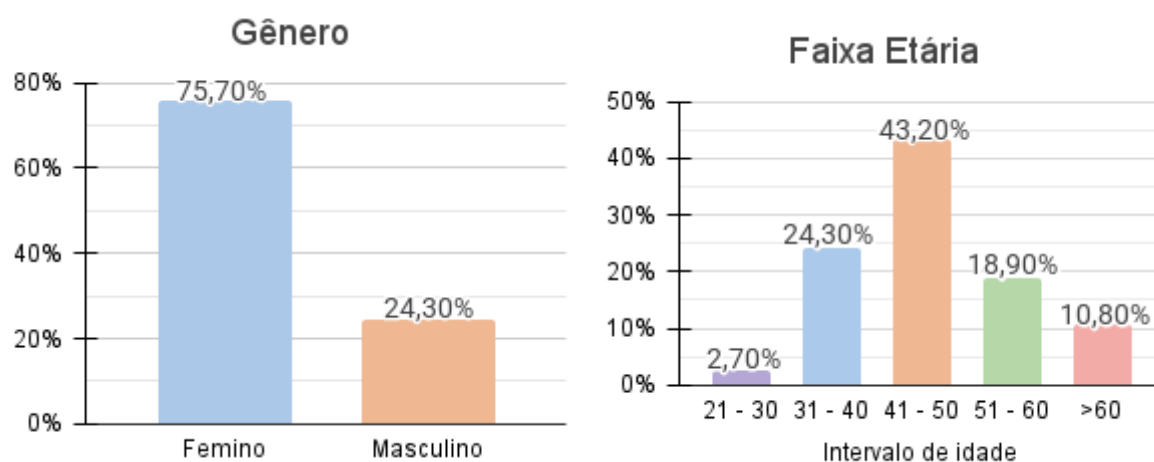
Fonte: Elaborado pela autora.

4.2. QUALIDADE DO AMBIENTE INTERNO

O questionário de satisfação dos ocupantes esteve disponível entre 12/08 e 15/09, resultando em 37 respostas, correspondentes a 34,26% dos funcionários da escola vinculados à Prefeitura Municipal. A população total é de 121 funcionários, e a amostra de 37 pessoas proporcionou um nível de confiança de 90% e uma margem de erro de 11,5%.

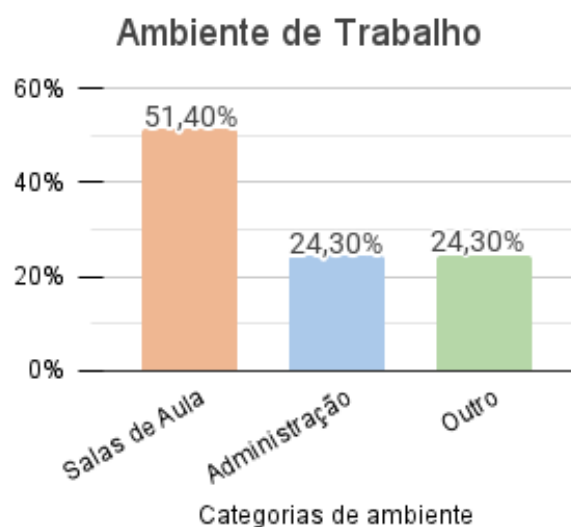
A caracterização da amostra indicou que 43,2% dos respondentes têm entre 41 e 50 anos, 78,4% trabalham na instituição há mais de um ano, 75,7% se identificam com o gênero feminino e 51,4% passam a maior parte do tempo trabalhando em salas de aula. Além disso, 24,3% permanecem predominantemente em salas administrativas e outros 24,3% em diferentes ambientes, como bibliotecas, corredores e laboratórios (Figuras 48 e 49).

Figura 48 - Amostra dos respondentes da pesquisa de satisfação dos ocupantes - gênero e faixa etária



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 49 - Amostra dos respondentes da pesquisa de satisfação dos ocupantes - ambiente de trabalho



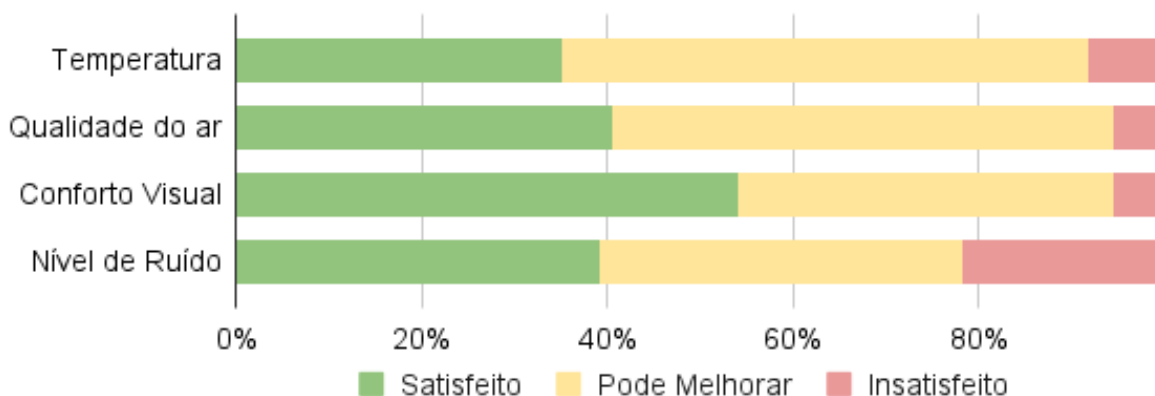
Fonte: Elaborado pela autora.

Na primeira pergunta do questionário, 45% dos respondentes atribuíram nota igual ou inferior a 6 para a satisfação com o espaço do ambiente escolar destinado à realização das atividades, indicando que quase metade dos participantes considera o espaço insatisfatório ou apenas mediano.

Na pergunta geral (escala de 3 pontos) para cada domínio com texto “De que forma você se sente em relação...” indica uma menor porcentagem de satisfeitos para o domínio térmico, e em seguida para os domínios acústico e qualidade do ar. Sendo o domínio com maior porcentagem de satisfeitos o visual (Figura 50). O questionário foi aplicado entre agosto e setembro, mas trata-se de uma pesquisa transversal, cujas perguntas se referem à percepção de satisfação em diferentes estações do ano e de forma geral.

Figura 50 - porcentagem de satisfeitos para cada domínio

De que forma você se sente em relação...

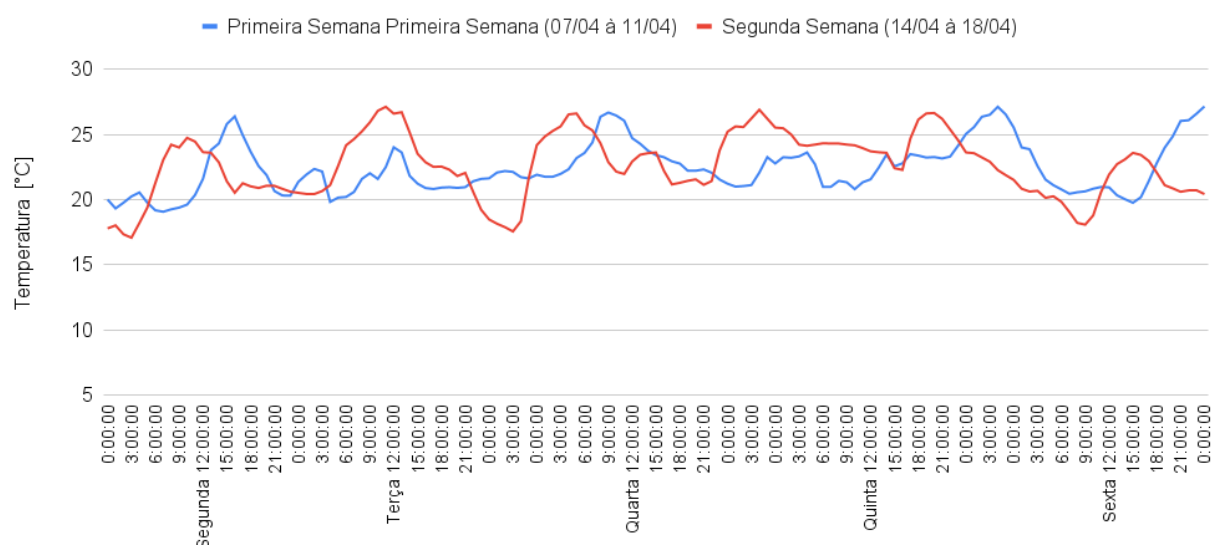


Fonte: Elaborado pela autora.

4.2.1. Térmico

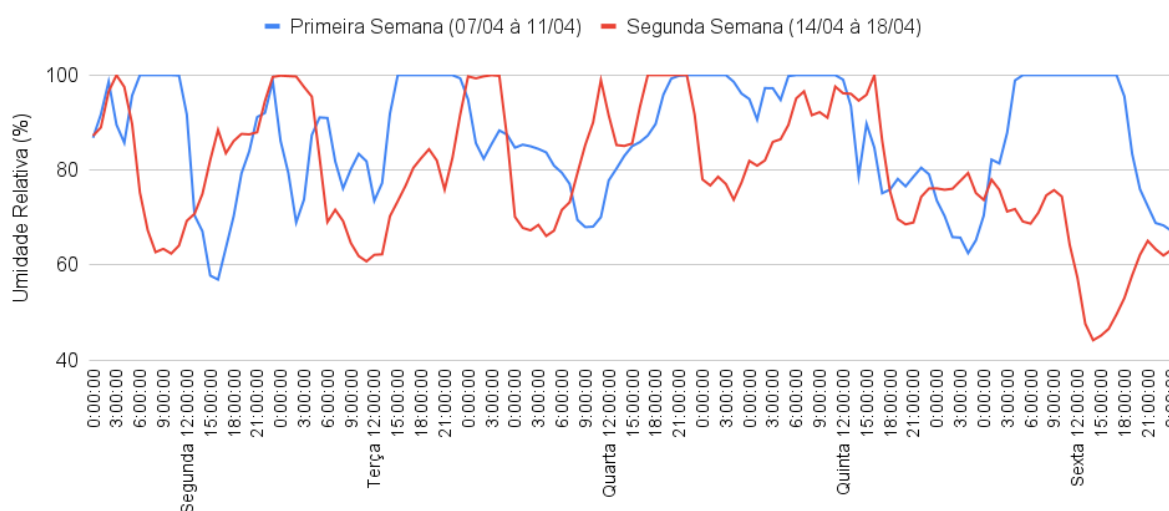
Durante as duas semanas de medição realizadas no mês de abril, a temperatura externa manteve-se predominantemente na faixa de 20°C a 27°C (Figura 51). No entanto, houve diferença na umidade relativa e nas temperaturas mínimas registradas entre os períodos. A primeira semana de medição apresentou uma umidade relativa média de 87%, enquanto a segunda semana registrou uma queda, com a umidade média sendo de 81% (Figura 52). Em termos de temperatura, a segunda semana foi marcada por maior amplitude térmica, com madrugadas mais frias do que a primeira.

Figura 51 - Temperatura do ar externo na primeira rodada de medição (abril)



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 52 - Umidade relativa externa na primeira rodada de medição (abril)



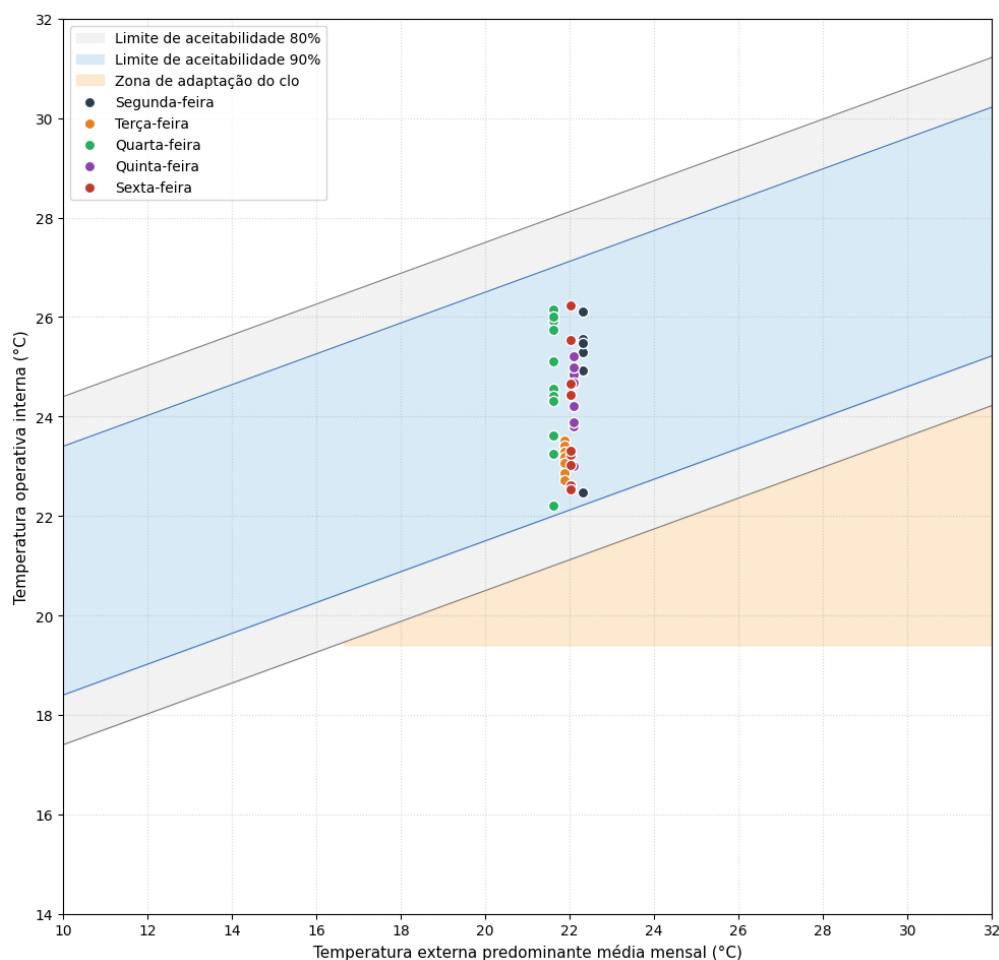
Fonte: Elaborado pela autora.

A avaliação do conforto térmico foi conduzida com base na metodologia de conforto térmico adaptativo, conforme os critérios estabelecidos pelas normas ABNT NBR 16401-2 (2024) e ASHRAE 55 (2023). Ressalta-se, contudo, que o modelo

adaptativo parte da premissa de ambientes naturalmente ventilados, sem a operação de sistemas de condicionamento de ar. As salas analisadas apresentam ventilação híbrida, com uso combinado de ventilação natural e mecânica e, em determinados períodos, operação simultânea de ar-condicionado e janelas abertas, condição que inviabiliza a aplicação do modelo PMV e limita a aplicabilidade do modelo adaptativo. Ainda assim, este último foi adotado como referência, com a devida ressalva quanto às suas limitações no contexto analisado.

A medição realizada na sala 1, na primeira rodada de medições (abril), confirmou que a temperatura operativa permaneceu integralmente dentro da faixa recomendada (Figura 53). Esse resultado deve-se ao uso do sistema de ar-condicionado split, responsável pelo resfriamento do ambiente interno.

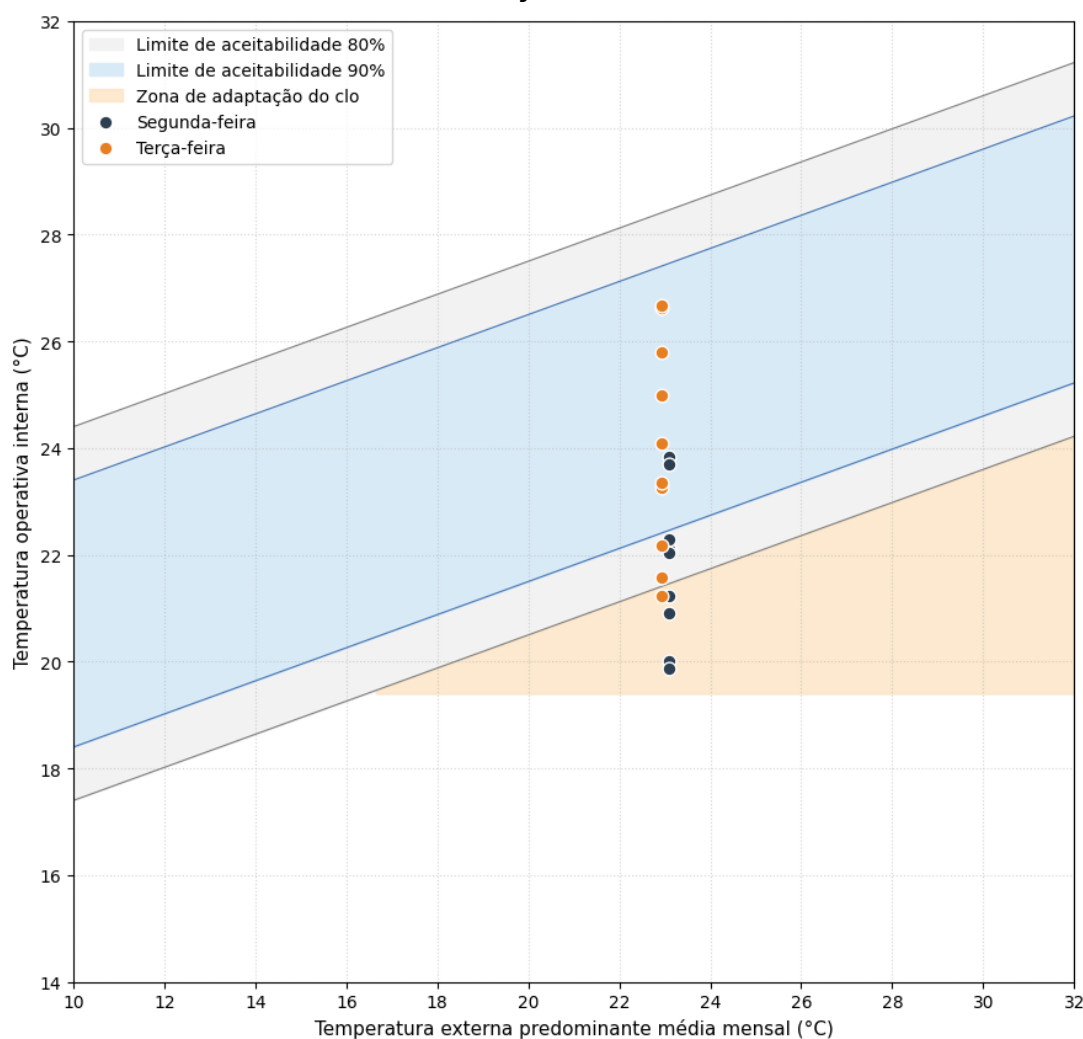
Figura 53 – Resultados do conforto térmico adaptativo referentes à primeira rodada de medições - sala 1



Fonte: Adaptado da ABNT NBR 16401-2 (2024).

Os resultados da medição na sala 2 (Figura 54) diferem daqueles observados na sala 1, principalmente devido aos hábitos de uso dos ocupantes. Embora a gestão escolar sugira manter o setpoint dos aparelhos de ar-condicionado split em 21 °C, durante a medição, em alguns momentos, a temperatura operativa permaneceu abaixo desse valor, indicando que o setpoint efetivamente utilizado era mais baixo. Em alguns momentos (25% das horas), a temperatura operativa ultrapassou a faixa indicada pela norma, indicando desconforto por frio, mas ainda permaneceu dentro da zona de adaptação térmica do clo.

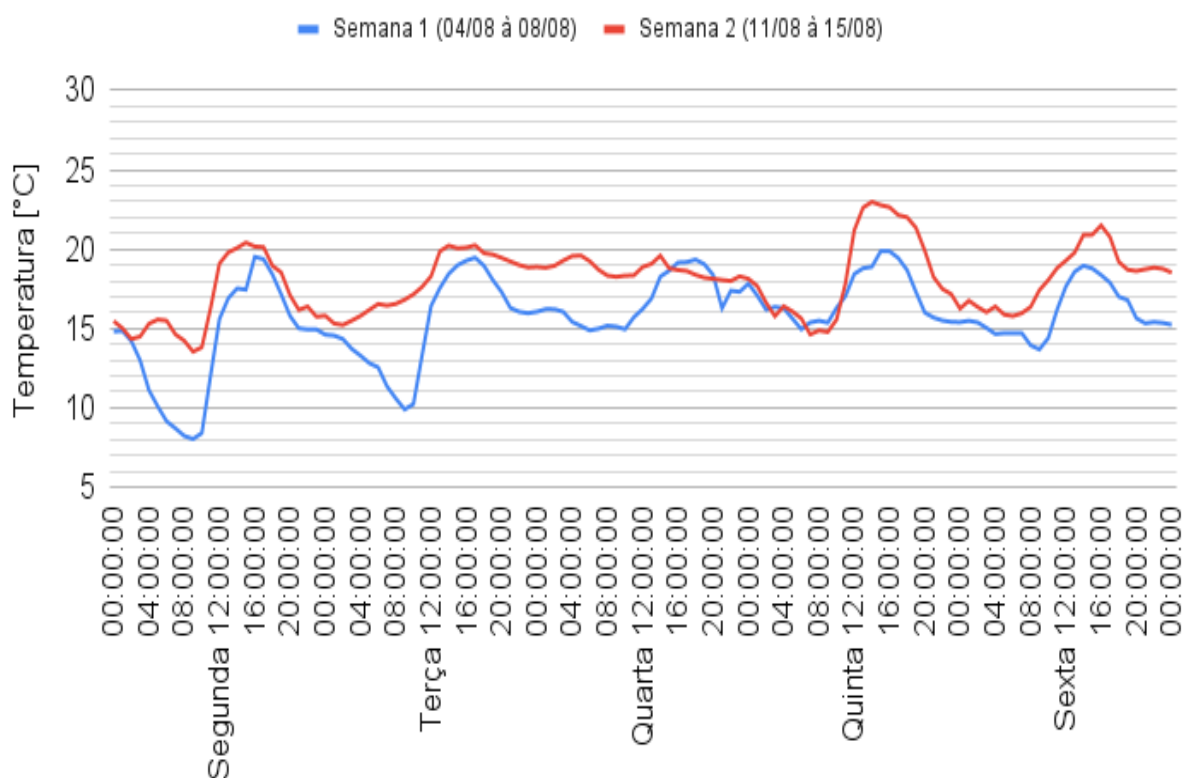
Figura 54 – Resultados do conforto térmico adaptativo referentes à primeira rodada de medições - sala 2



Fonte: Adaptado da ABNT NBR 16401-2 (2024)

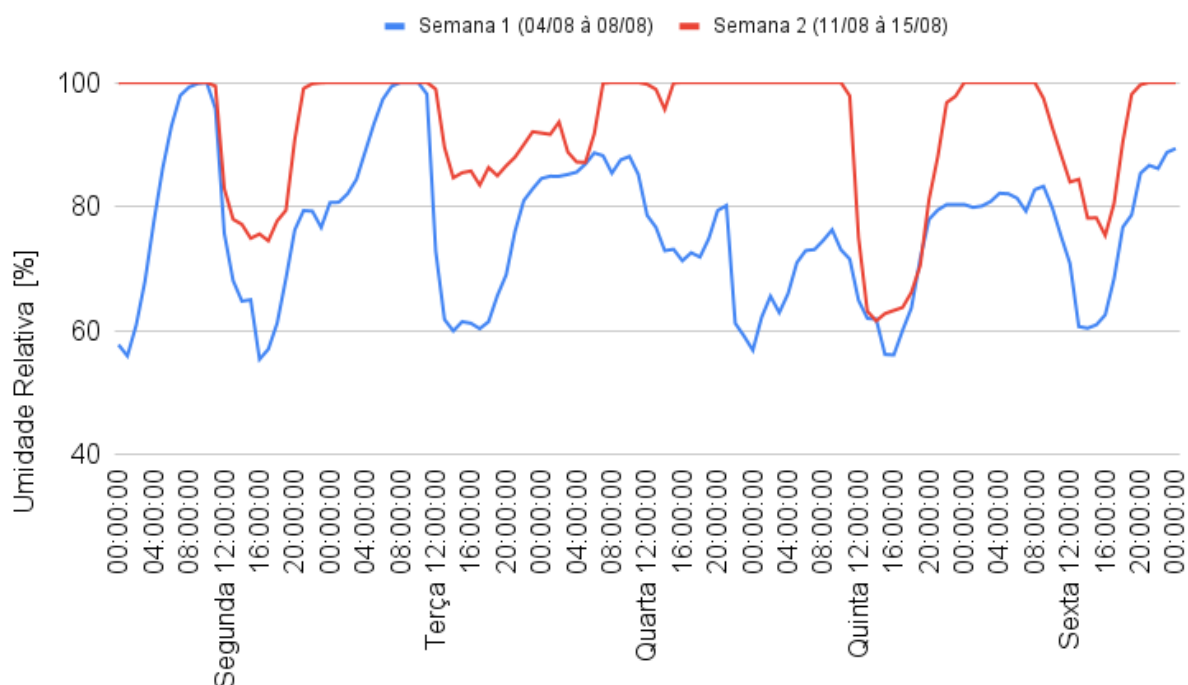
Na segunda rodada de medições, observou-se que as temperaturas do ar durante as noites e as manhãs de segunda-feira e terça-feira da primeira semana estavam mais baixas do que as registradas na segunda semana. Apesar disso, as temperaturas máximas diárias permaneceram próximas de 20 °C na maior parte dos dias de ambas as semanas. Em relação à umidade relativa do ar, esta se manteve em diversos períodos em 100% na segunda semana, enquanto na primeira semana variou predominantemente entre 55% e 80%, com picos de 100% apenas na segunda e na terça-feira. A temperatura do ar é apresentada na Figura 55 e a umidade relativa na Figura 56.

Figura 55 - Temperatura do ar externo na segunda rodada de medição (agosto)



Fonte: Elaborado pela autora

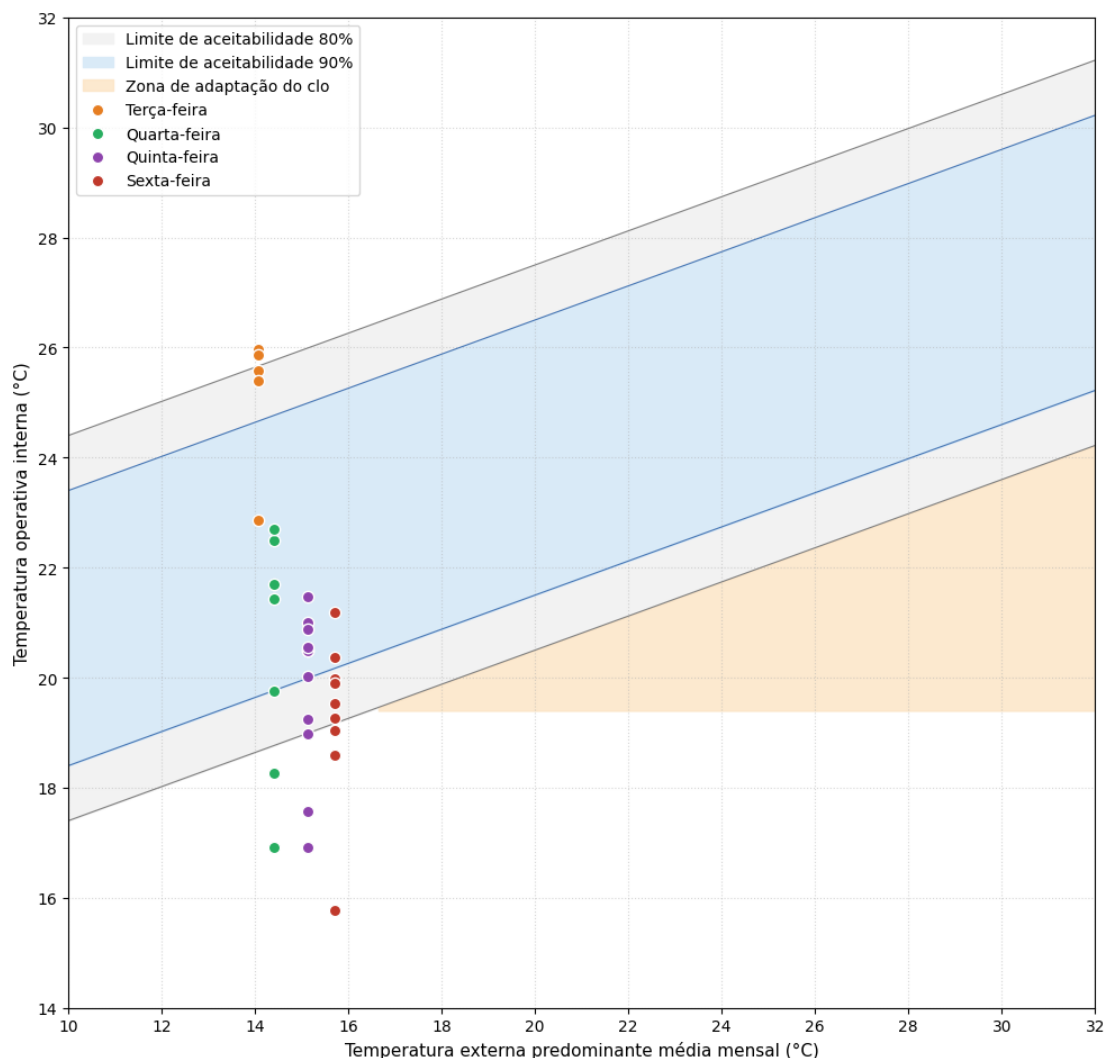
Figura 56 - Umidade relativa externa na segunda rodada de medição (agosto)



Fonte: Elaborado pela autora

Na sala 1, durante as medições de agosto, a temperatura operativa manteve-se predominantemente dentro da zona de aceitabilidade, com 66,7% das horas no limite de aceitabilidade de 80%. Ocorreram episódios pontuais de desconforto térmico: na terça-feira, verificou-se desconforto por calor às 14h e 15h, quando a temperatura operativa excedeu o limite superior da norma. Inversamente, nos demais dias, registraram-se condições de desconforto por frio no início das manhãs, devido às baixas temperaturas externas típicas do período (Figura 57).

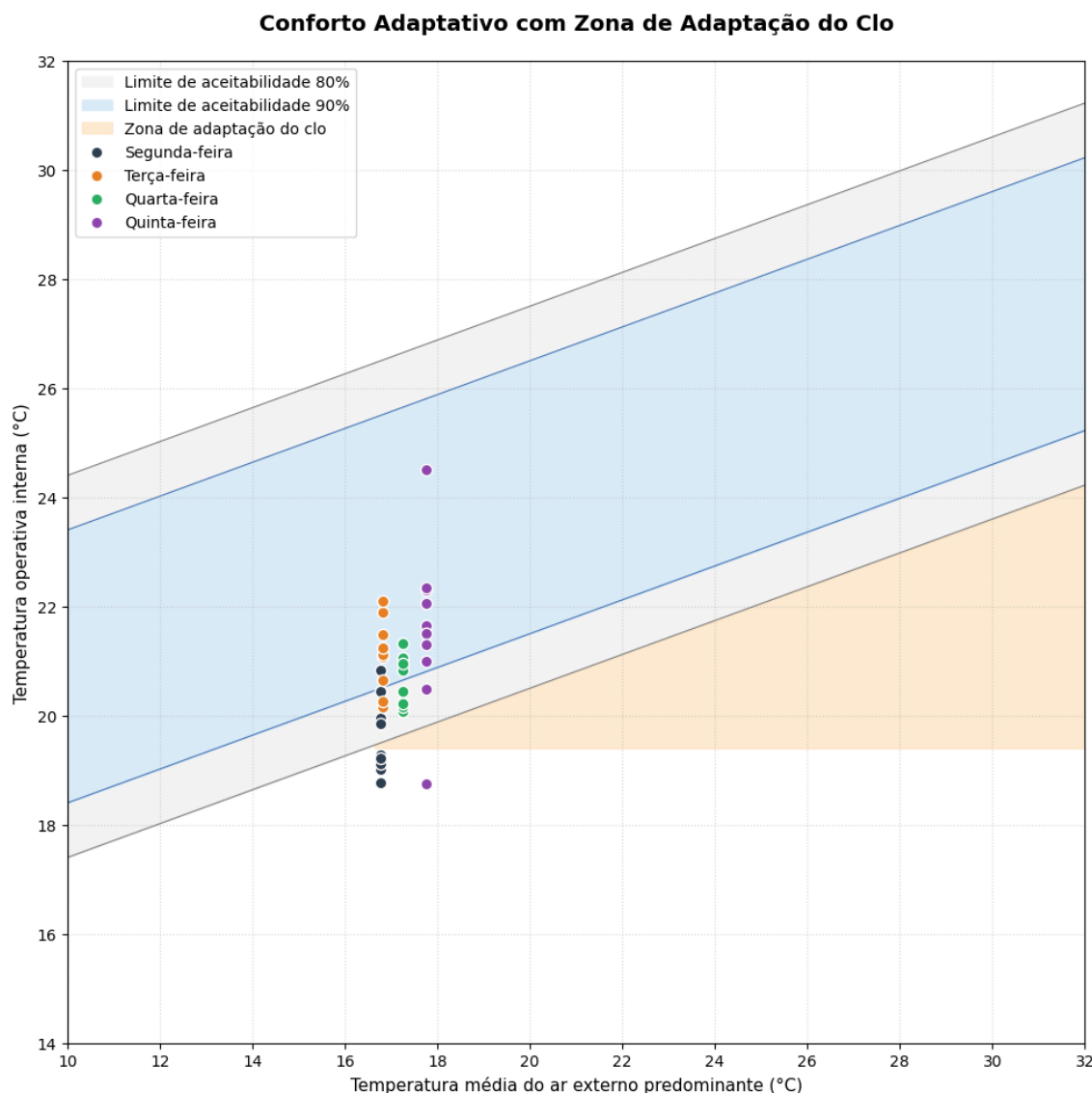
Figura 57 – Resultados do conforto térmico adaptativo referentes à segunda rodada de medições - sala 1



Fonte: Adaptado da ABNT NBR 16401-2 (2024)

Durante a segunda rodada de medições, a sala 2 apresentou conforto térmico satisfatório, operando majoritariamente dentro dos parâmetros da ABNT NBR 16401-2 (2024), apresentando 83,8% das horas dentro do limite de aceitabilidade de 80%. A principal exceção ocorreu na segunda-feira, quando as baixas temperaturas operativas registradas no período matinal resultaram em episódios pontuais de desconforto por frio. Nos demais dias e horários, o ambiente permaneceu plenamente dentro da zona de aceitabilidade. A Figura 58 apresenta os resultados do conforto térmico adaptativo referentes às medições da sala 2.

Figura 58 – Resultados do conforto térmico adaptativo referentes à segunda rodada de medições - sala 2

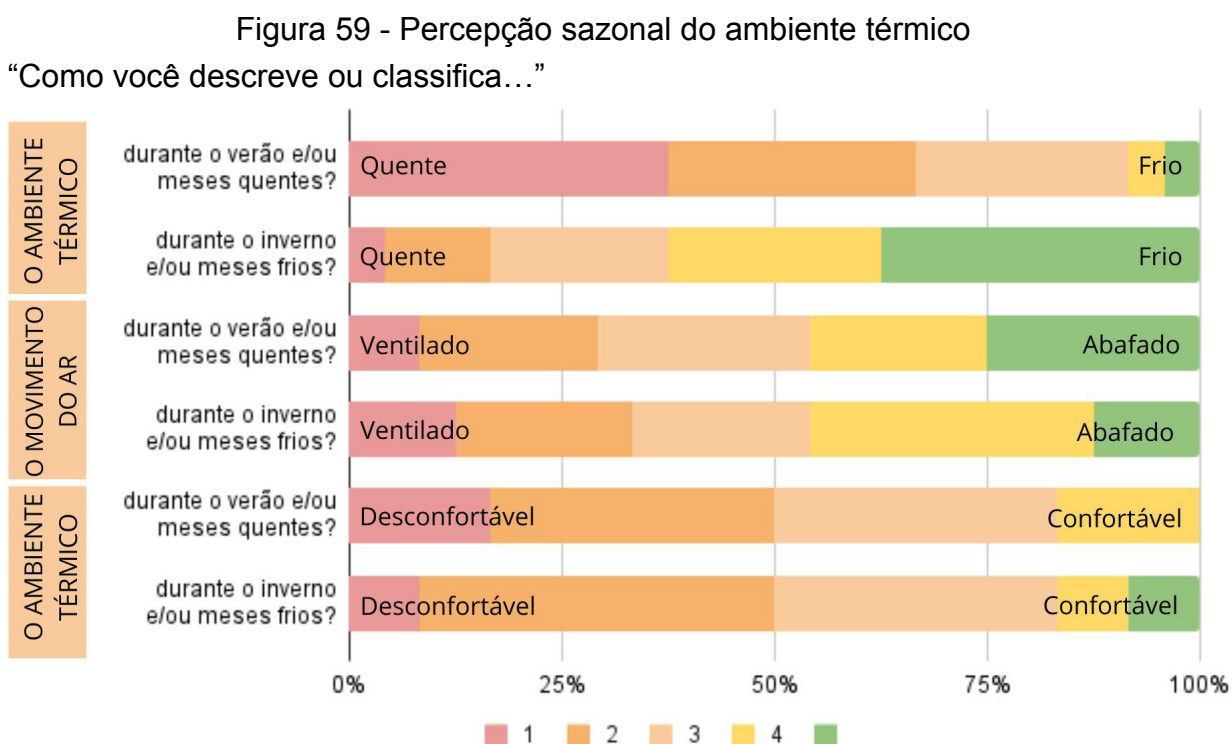


Fonte: Adaptado da ABNT NBR 16401-2 (2024)

A análise comparativa entre as rodadas de abril e agosto demonstra que o ambiente térmico das salas é influenciado pela sazonalidade climática e pelo comportamento dos usuários. Em abril, a sala 1 manteve estabilidade total por meio da climatização, enquanto a Sala 2 registrou temperaturas abaixo do esperado devido ao uso de *setpoints* reduzidos pelos ocupantes, embora mantidos dentro da zona de adaptação do clo. Em agosto, a temperatura externa baixa resultou em desconforto por frio matinal em ambas as salas, com a sala 1 (mais isolada

termicamente) apresentando ainda picos isolados de calor vespertino. Apesar disso, na maior parte do tempo, a temperatura operativa se manteve dentro da faixa de temperatura operativa nas duas rodadas de medição.

A partir da aplicação do questionário, os respondentes foram questionados: “Como você descreve ou classifica o ambiente térmico e o movimento do ar ao longo do ano?”. As respostas indicam maior desconforto associado ao calor (Figura 59). Observa-se que os meses quentes são predominantemente percebidos como quentes, assim como os meses frios são indicados como frios, evidenciando coerência na percepção térmica sazonal. Ademais, os meses quentes também são caracterizados como mais abafados.



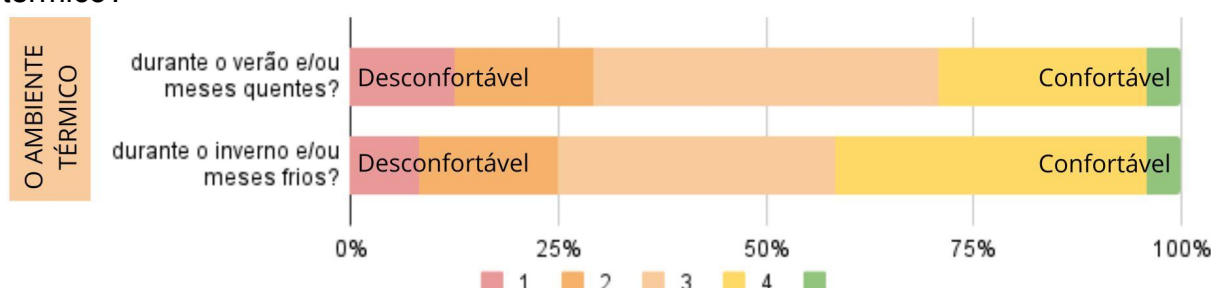
Fonte: Elaborado pela autora.

Na última questão relacionada ao ambiente térmico (Figura 60), observa-se que o percentual de ocupantes que se declaram confortáveis é maior no inverno, enquanto os maiores índices de desconforto concentram-se no verão. Esses resultados indicam a necessidade do uso de aparelhos de ar-condicionado, evidenciando que os equipamentos existentes não são suficientes para manter

condições adequadas de conforto no verão e reforçando o hábito observado de operação contínua do sistema de climatização ao longo de todo o período de aula. Entretanto, apesar dessa percepção, as medições do ambiente térmico, associadas à aplicação do índice de conforto adaptativo, demonstraram um maior número de horários fora da faixa de temperatura operativa no inverno, sobretudo nos primeiros horários da manhã.

Figura 60 - Satisfação sazonal com o ambiente térmico

“Considerando todos os aspectos, qual o nível de satisfação com o ambiente térmico?”



Fonte: Elaborado pela autora.

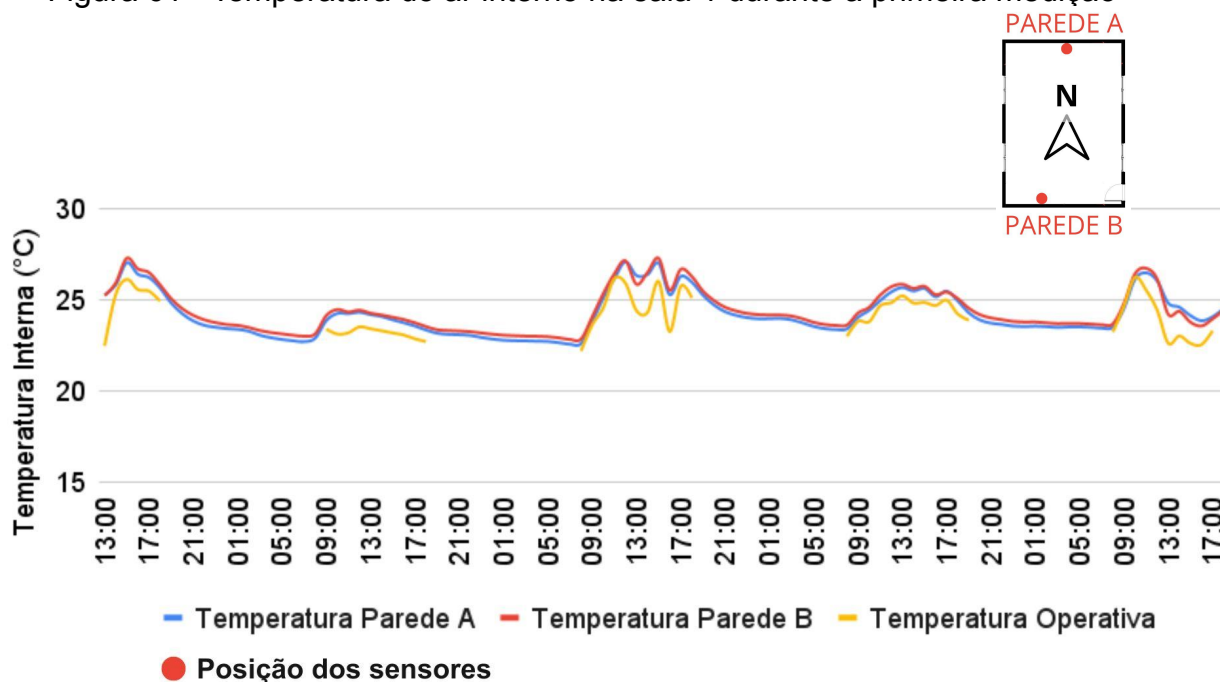
4.2.2. Qualidade do ar

A análise da qualidade do ar interno, realizada na primeira rodada de medições na sala 1, revelou concentrações elevadas de dióxido de carbono (CO_2) (Figura 62). No segundo dia de medição, os níveis de CO_2 atingiram valores próximos de 2500 ppm e, durante a maior parte do período de ocupação da sala, permaneceram acima de 1000 ppm, limite considerado máximo para ambientes escolares segundo a literatura. Observa-se, ainda, que os momentos de menor temperatura (Figura 61) durante o uso da sala coincidem com os períodos de maior concentração de CO_2 , resultado do funcionamento do ar-condicionado tipo split, que resfria o ambiente sem promover renovação adequada do ar.

O comportamento da concentração de CO_2 está relacionado à ocupação, apresentando reduções durante os intervalos e horários sem presença de usuários. No entanto, mesmo no período noturno, os níveis permanecem elevados, acima de

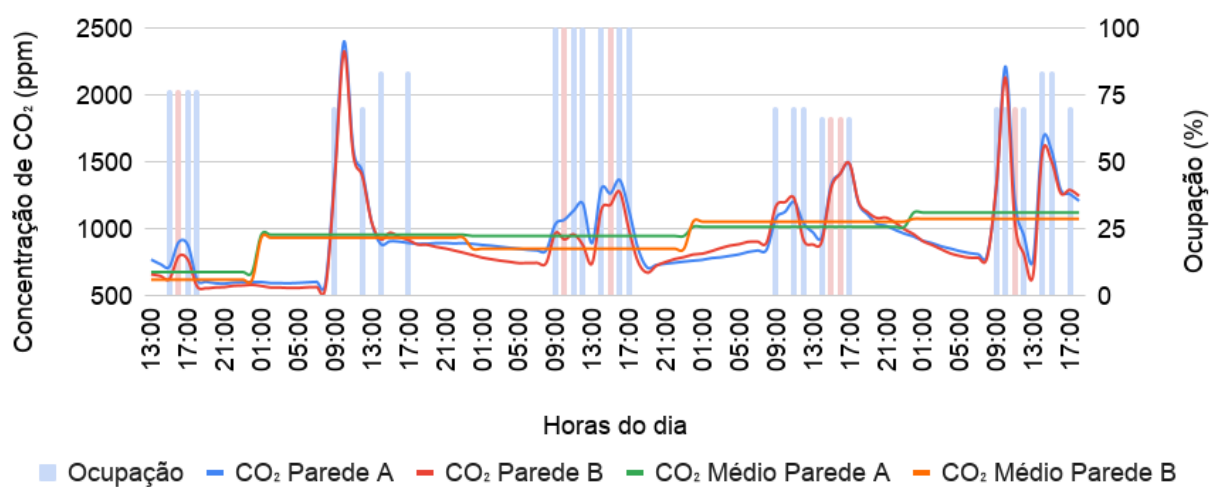
500 ppm. Essa situação é explicada pelo hábito dos usuários de manter as janelas fechadas, o que impede a renovação natural do ar, mesmo após o término das aulas, durante o horário destinado à limpeza da sala.

Figura 61 - Temperatura do ar interno na sala 1 durante a primeira medição



Fonte: Elaborado pela autora

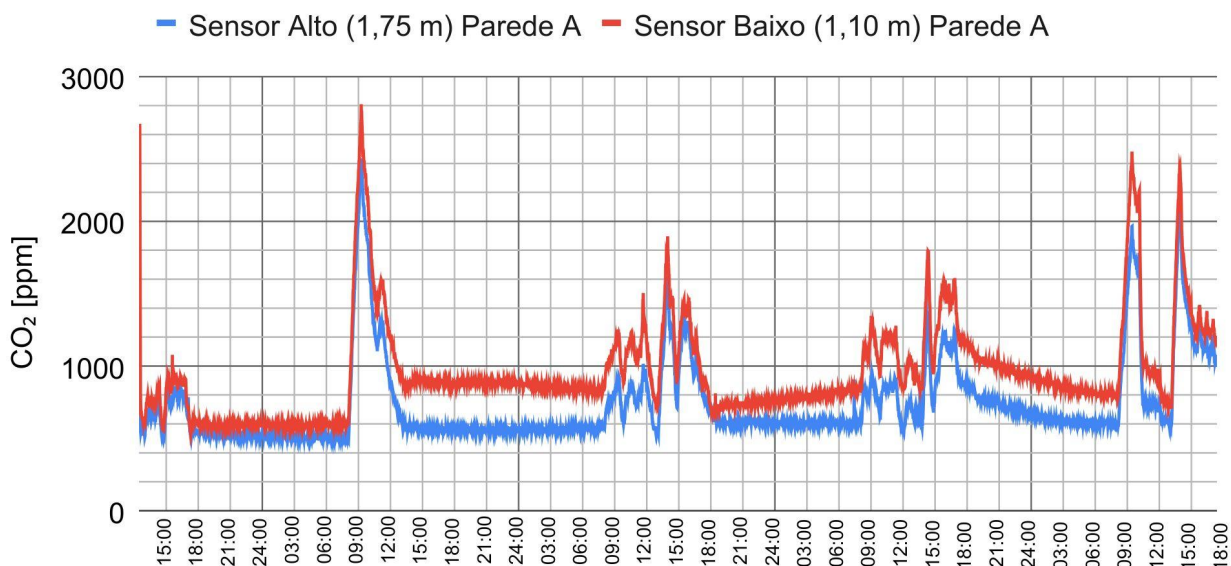
Figura 62 - Medições referentes à qualidade do ar na estação quente na sala 1



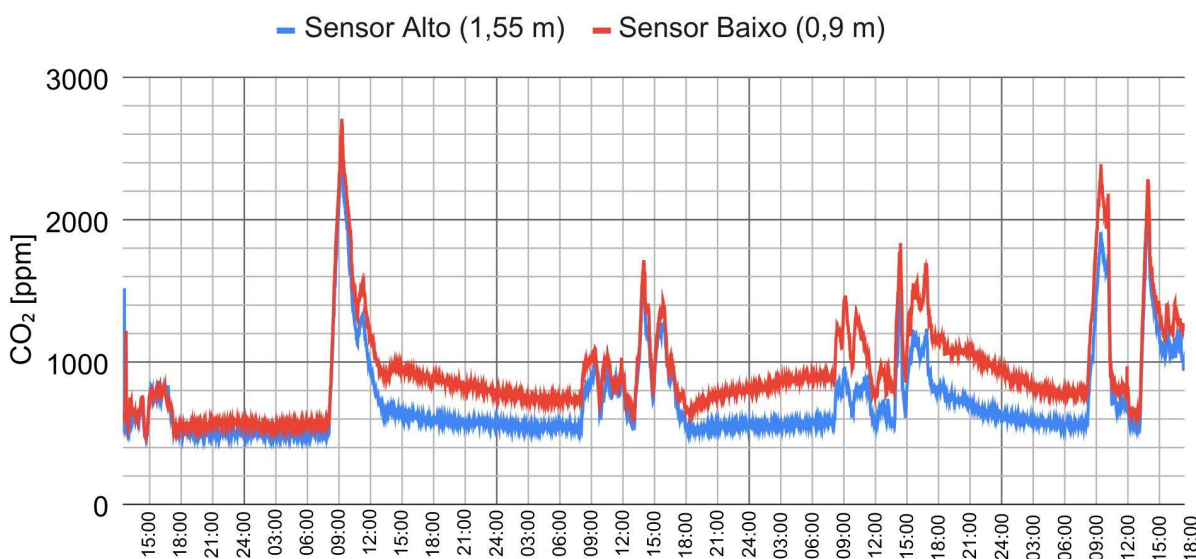
Fonte: Elaborado pela autora

Em relação à concentração de CO₂ em função da altura, observou-se uma diferença consistente entre os sensores. Os sensores posicionados em nível mais baixo (1,10 na parede A e 0,9 na parede B), próximo à altura respiratória dos estudantes, registraram concentrações mais elevadas de dióxido de carbono, enquanto os sensores em nível mais alto (1,75 na parede A e 1,55 na parede B) apresentaram valores inferiores, com uma diferença média de aproximadamente 200 ppm entre as medições. Esses resultados são apresentados nas Figuras 63 (sensores na parede A) e 64 (sensores na parede B), sendo que as diferenças observadas entre as alturas foram semelhantes em ambos os lados da sala de aula.

Figura 63 - Concentração de CO₂ por altura - Sensor parede A



Fonte: Elaborado pela autora

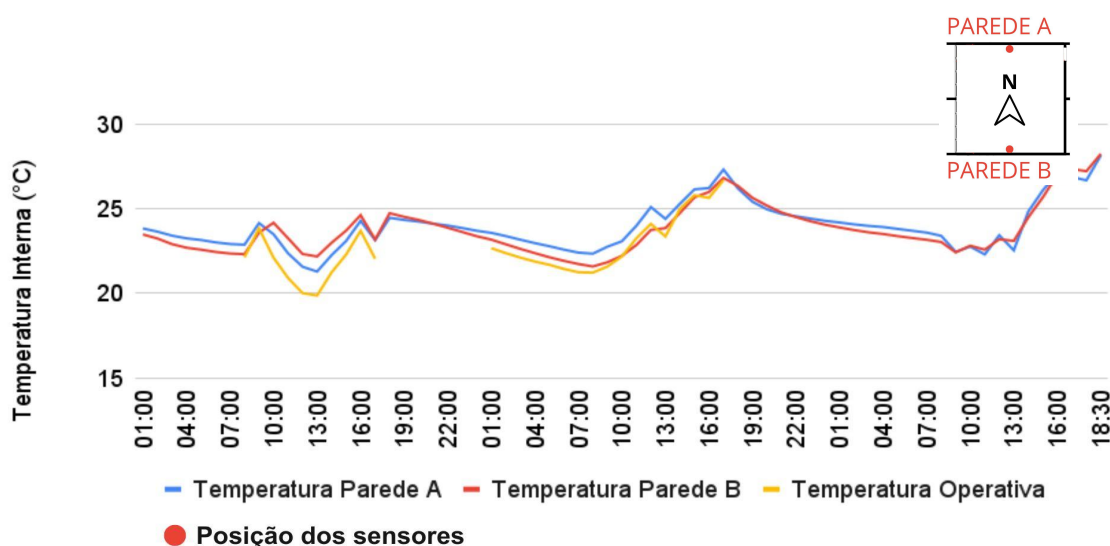
Figura 64 - Concentração de CO₂ por altura - Sensor parede B

Fonte: Elaborado pela autora.

Na sala 2, durante a primeira rodada de medições, observou-se que o hábito dos ocupantes de manter as janelas abertas, mesmo com o sistema de climatização ligado, gerou uma situação particular. Embora o ar-condicionado não promova a renovação do ar, a concentração de CO₂ apresentou redução em diversos momentos (Figura 66), comportamento esperado em função da ventilação natural.

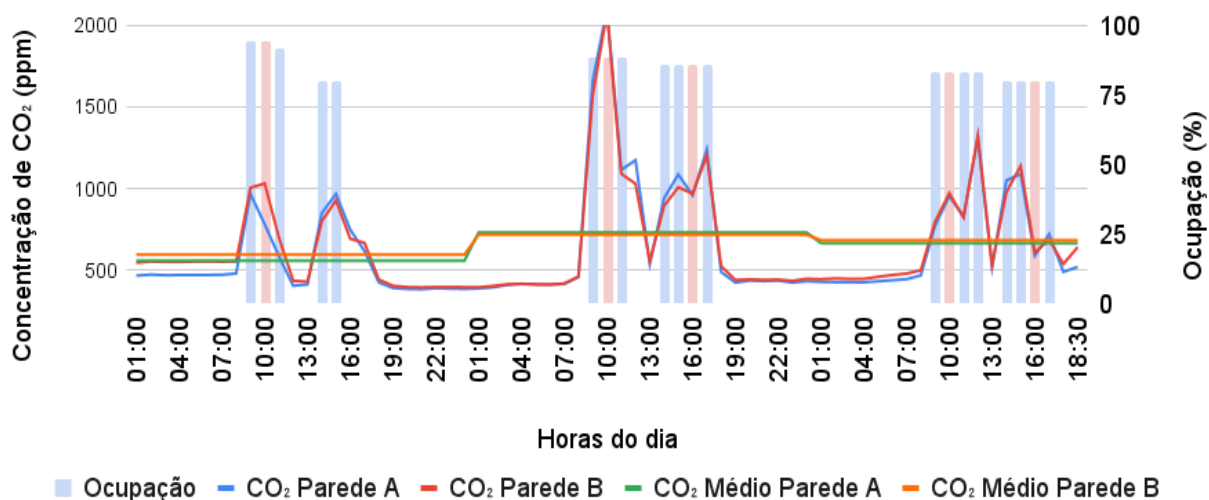
No segundo dia de medição, a concentração de CO₂ atingiu seu pico máximo de 2500 ppm, sugerindo que, momentaneamente, os usuários provavelmente fecharam as janelas, operando o ar-condicionado e os ventiladores sem renovação de ar. Apesar disso, a concentração de CO₂ na sala 2 permaneceu, na maior parte do tempo, próxima ou abaixo do limite de 1000 ppm, o que reforça o benefício da manutenção das janelas abertas para a diluição de poluentes. No entanto, é importante ressaltar que o uso simultâneo de ar-condicionado com janelas abertas constitui uma prática energeticamente ineficiente. Ao permitir a entrada constante de ar quente e geralmente mais úmido do exterior, o sistema de climatização é forçado a operar continuamente contra essa carga térmica, resultando em desperdício significativo de energia e sobrecarga do equipamento. Nesse contexto, a adoção de um sistema de climatização com renovação de ar adequada mostra-se fundamental para conciliar a qualidade do ar interno com a eficiência energética, evitando perdas energéticas desnecessárias.

Figura 65 - Temperatura do ar interno na sala 2 durante a primeira medição



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 66 - Medições referentes a qualidade do ar na estação quente na sala 2

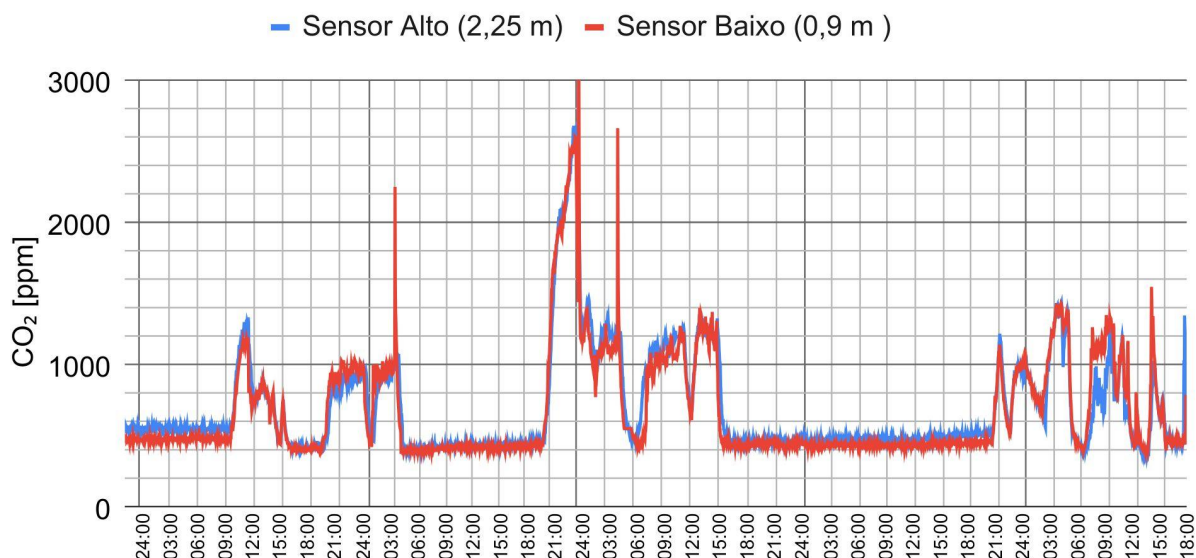


Fonte: Elaborado pela autora.

Na sala 2, o comportamento da concentração de CO₂ em relação à altura divergiu do observado na sala anterior. Os valores registrados pelos sensores posicionados em diferentes alturas revelaram-se muito similares (Figuras 67 e 68), com uma diferença média de apenas 19 e 21 ppm para os lados da sala, indicando uma menor estratificação vertical. Isso pode ser explicado pelo hábito da abertura das janelas que resulta em uma maior circulação do ar. Além disso, os funcionários

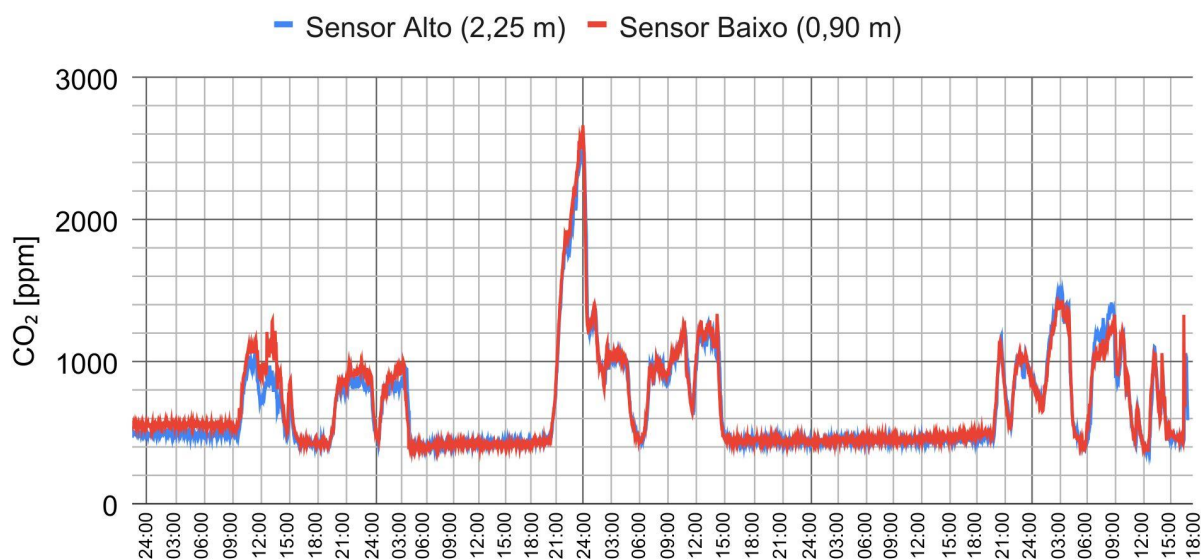
da equipe de limpeza responsáveis por esta sala possuem o hábito de abrir as janelas para a circulação do ar no período pós-aula, auxiliando na diminuição de CO_2 no horário noturno.

Figura 67 - Concentração de CO_2 por altura - Sensor parede esquerda



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 68 - Concentração de CO_2 por altura - Sensor parede direita

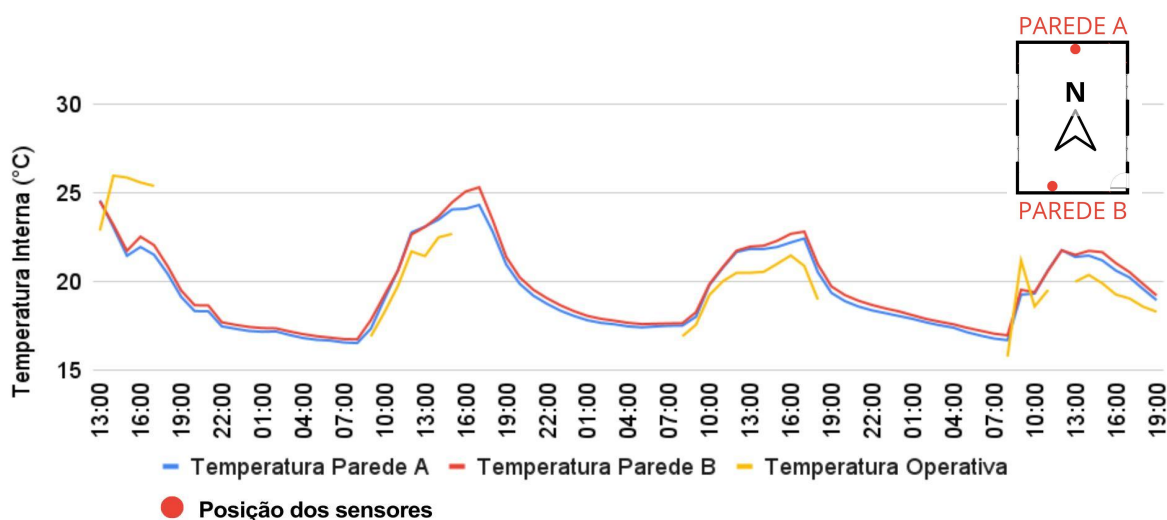


Fonte: Elaborado pela autora

Na segunda rodada de medições (agosto), na sala 1, diferentemente do que foi observado na estação quente, a concentração de CO₂ permaneceu sempre abaixo de 1000 ppm (Figura 70). Esse resultado indica a contribuição da ventilação natural adotada no período de inverno.

Os maiores valores de CO₂ foram registrados no segundo e no terceiro dia de medições. O segundo dia correspondeu ao período de maior temperatura do ar interno (Figura 69), o que pode indicar menor abertura das janelas. Já o terceiro dia apresentou a maior ocupação da sala, bem como menor tempo de realização de aulas fora do ambiente. Esses fatores contribuíram para a elevação das concentrações de CO₂ observadas nesses dias, embora os valores tenham permanecido abaixo de 1000 ppm.

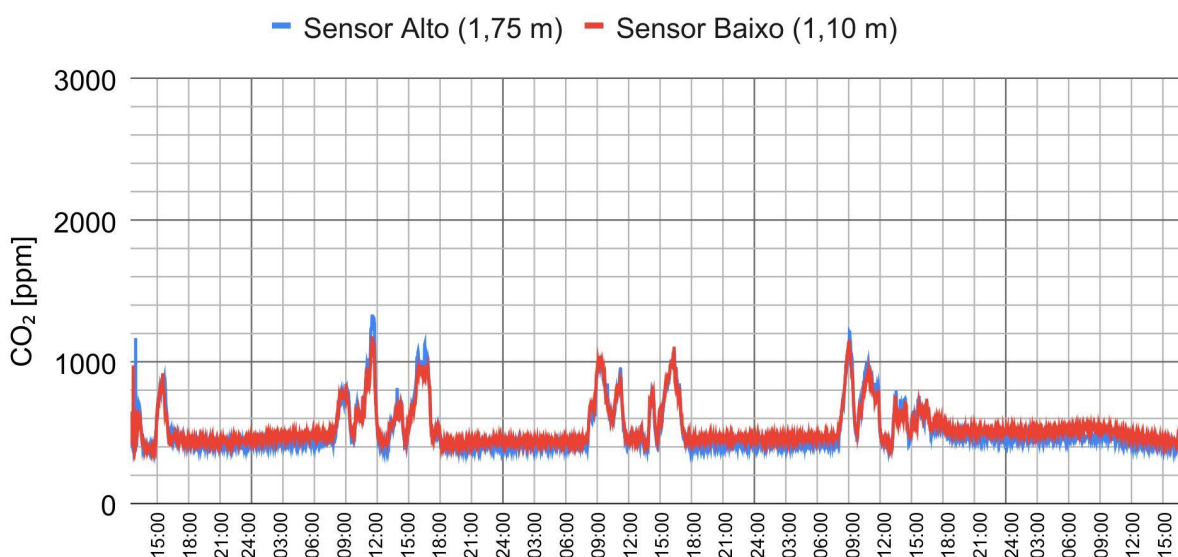
Figura 69 - Temperatura do ar interno na sala 1 durante a segunda medição



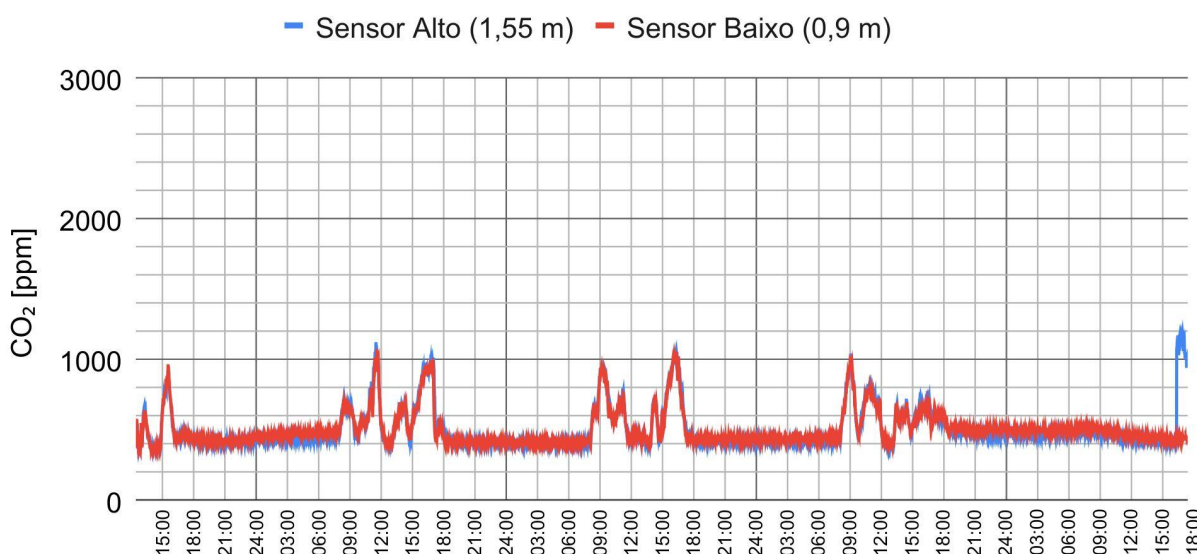
Fonte: Elaborado pela autora.



O comportamento da concentração de CO₂ em função da altura nesta estação, apresentado nas Figuras 71 e 72, diferiu significativamente do observado durante a estação quente. Enquanto na medição 1 a diferença média entre os sensores próximos ao nível respiratório e os sensores mais altos era de aproximadamente 200 ppm, nesta estação a diferença caiu para 28 ppm na parede B e apenas 4 ppm na parede A. Essa redução expressiva indica maior homogeneidade do ar e sugere uma maior frequência de abertura das janelas para ventilação natural, o que contribui para a diminuição da estratificação do CO₂.

Figura 71 - Concentração de CO₂ por altura - Sensor parede frente

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 72 - Concentração de CO₂ por altura - Sensor parede fundo

Fonte: Elaborado pela autora

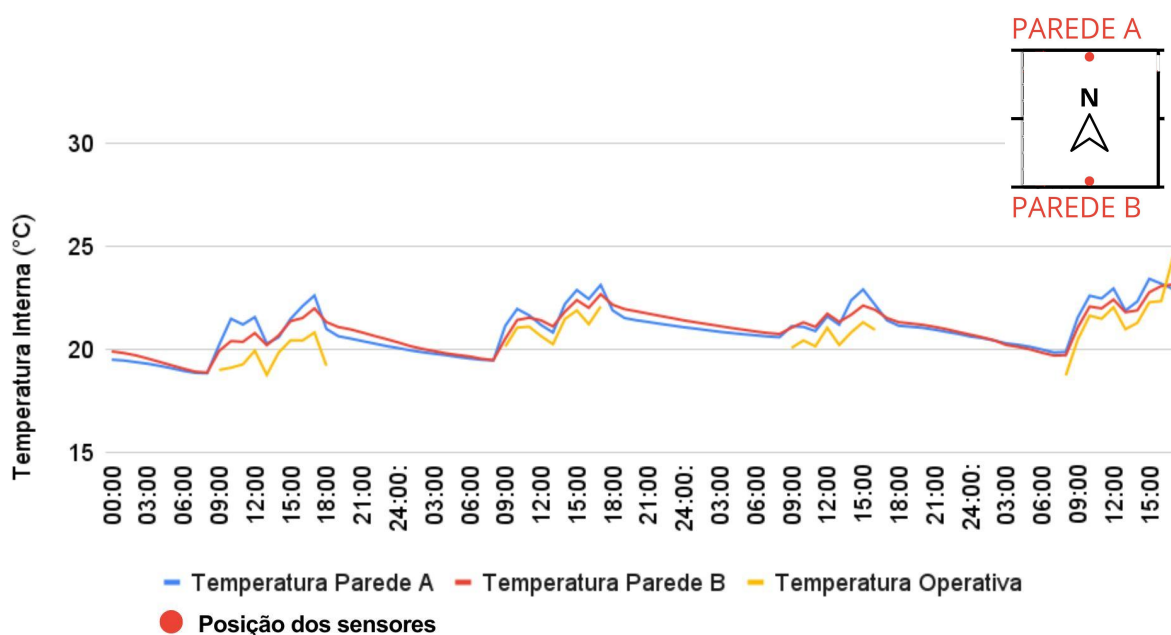
Na segunda sala, durante a segunda rodada de medições, referente ao mês de agosto, a concentração de dióxido de carbono (CO₂) (Figura 74) apresentou relação com o nível de ocupação da sala, mesmo com o hábito de manter as janelas abertas. Nos dias de maior ocupação, como segunda e sexta-feira, os índices de CO₂ foram mais elevados. Na segunda-feira, a concentração oscilou entre 1000 ppm

e 1400 ppm nos horários em que a sala estava ocupada, apesar da ventilação natural proporcionada pelas janelas.

Em contraste, a quarta-feira apresentou baixa ocupação, e a concentração de CO₂ manteve-se próxima de 1000 ppm. Esse dia foi atípico, com chuva e alta taxa de abstenção, contabilizando cerca de metade da turma. Episódios pontuais também evidenciaram a importância da ventilação. Na quinta-feira, a alta concentração matinal foi atribuída à presença de mais alunos com as janelas fechadas. À tarde, a concentração diminuiu, coincidindo com a abertura das janelas e menor ocupação da sala.

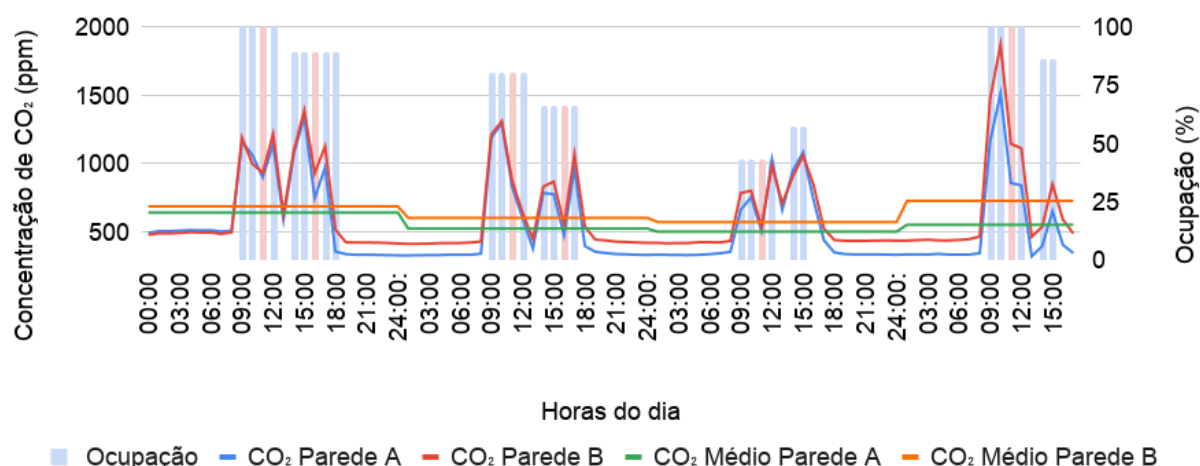
De maneira geral, foi possível estabelecer uma relação entre conforto térmico e qualidade do ar. Observou-se que temperaturas mais baixas (Figura 73) ocorrem quando há maior velocidade do ar devido às janelas abertas, o que simultaneamente contribui para a redução da concentração de CO₂.

Figura 73 - Temperatura do ar interno na sala 2 durante a segunda medição



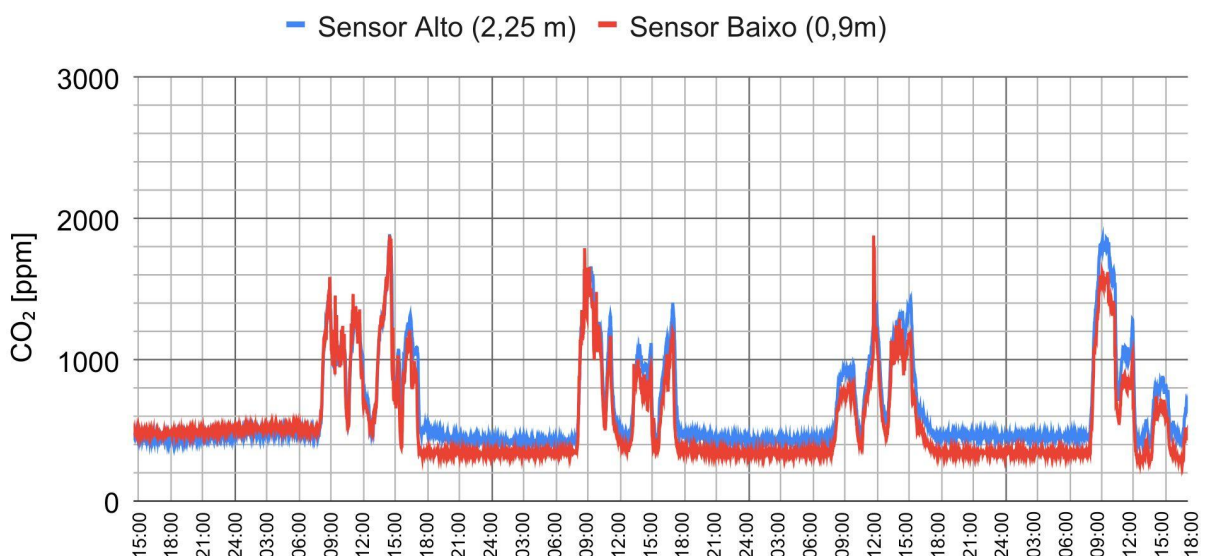
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 74 - Medições referentes à qualidade do ar na estação fria na sala 2

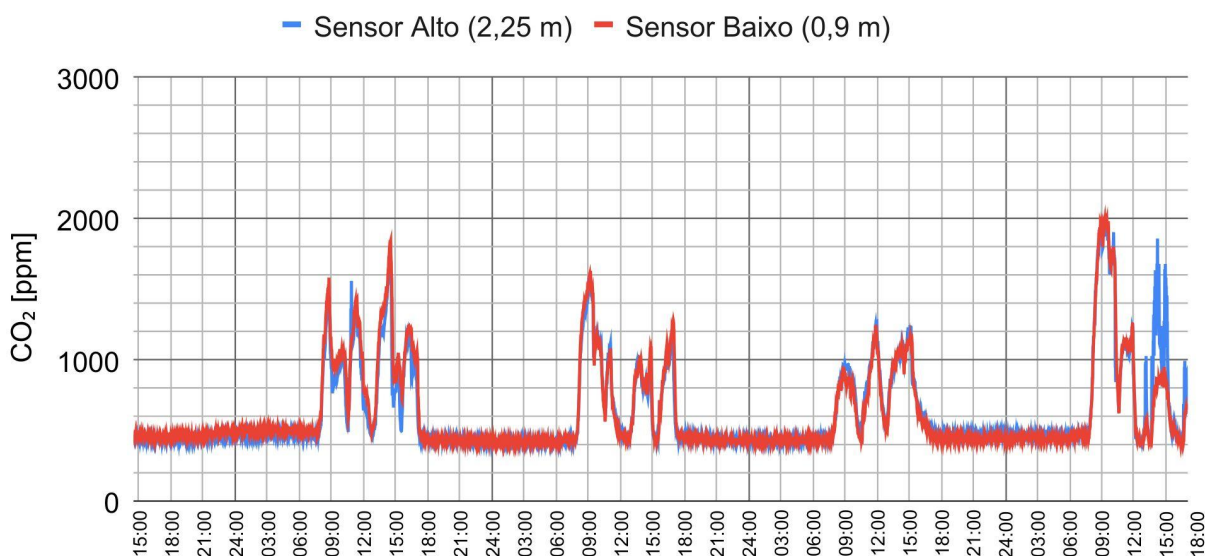


Fonte: Elaborado pela autora

Assim como nas medições anteriores (segunda medição da primeira sala e primeira medição desta sala), a estratificação vertical do CO₂ nesta análise também se mostrou baixa. Os valores de concentração estão representados nas Figuras 75 e 76. A diferença média observada é de 85 ppm para os sensores da parede A e de 1 ppm para os sensores da parede B. Contrariamente ao padrão verificado nas outras medições, na maior parte do tempo, o sensor posicionado na altura superior na parede esquerda foi o que registrou a maior concentração de dióxido de carbono.

Figura 75 - Concentração de CO₂ por altura - Sensor parede esquerda

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 76 - Concentração de CO₂ por altura - Sensor parede direita

Fonte: Elaborado pela autora.

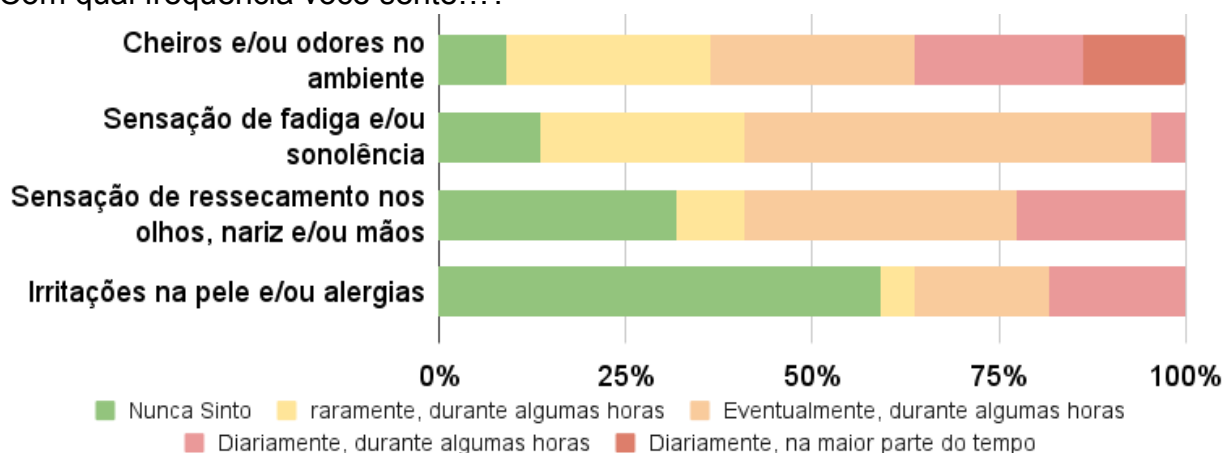
As altas concentrações de CO₂ ocorrem devido à alta densidade de pessoas na sala de aula e ao sistema de ar-condicionado, que não possui renovação de ar. Essa medição corrobora os achados de Triana *et al.* (2025), que indicaram a necessidade de instalar sistemas de renovação de ar em conjunto com o ar-condicionado nos municípios estudados (Florianópolis, Rio de Janeiro e Palmas). Apesar do CO₂ não ser o único fator responsável pelos sintomas de sonolência e redução da atenção, a sua elevada concentração pode contribuir para esses efeitos.

Níveis elevados de CO₂ indicam menor renovação do ar, o que favorece a concentração de compostos voláteis responsáveis por odores desagradáveis. Esse conjunto de fatores pode interferir no desempenho e na concentração dos alunos, além de aumentar a sensação de desconforto e de fadiga.

Os sintomas relacionados à qualidade do ar foram confirmados pelas respostas do questionário. Mais de 25% dos ocupantes relataram sentir cheiros e odores diariamente no ambiente, enquanto 50% dos funcionários relataram sensação de fadiga e/ou sonolência (Figura 77). Durante o período de observação, constatou-se que tanto a percepção de odores quanto a sensação de fadiga ou sonolência motivaram a abertura das janelas. Além disso, a entrada e saída de alunos também contribuíram para a abertura das janelas, especialmente no início da primeira aula da manhã e no final da última aula da tarde.

Figura 77 - Sintomas relacionados à qualidade do ar interno

“Com qual frequência você sente...?”

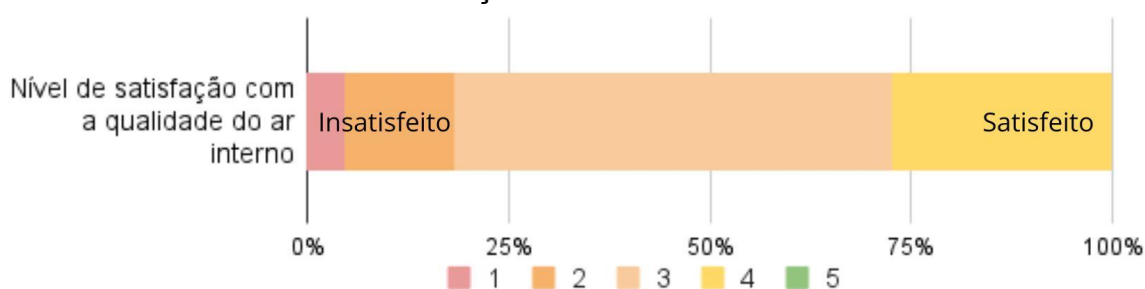


Fonte: Elaborado pela autora.

O nível de satisfação com a qualidade do ar foi baixo, com nenhum voto totalmente satisfeito (5), e somente cerca de 25% dos respondentes com voto 4 (Figura 78) reforçando os resultados obtidos em medição.

Figura 78 - Nível de satisfação com a qualidade do ar interno

“Considerando todos os aspectos, como você percebe o nível de satisfação com a qualidade do ar interno na sua estação de trabalho?”



Fonte: Elaborado pela autora

4.2.3. Lumínico

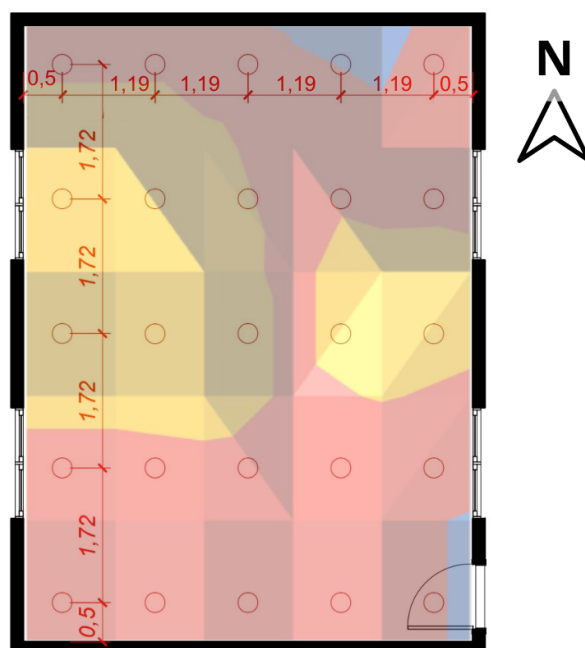
As medições de iluminância nas salas de aula foram realizadas em um único momento, ponto a ponto (na altura do plano de trabalho), no mês de novembro, às 15:00. A Sala 1 está localizada no Bloco C, que, conforme a auditoria energética

prévia, apresenta uma densidade de potência de iluminação média de 2,26 W/m². O sistema de iluminação artificial da sala é composto por lâmpadas tubulares LED T8 de 1400 *lúmens*, distribuídas em duas linhas no teto: uma linha com três e outra com duas luminárias. De modo geral, com as cortinas fechadas, a iluminância da sala foi insuficiente em diversas áreas.

Embora os pontos próximos às janelas apresentassem valores mais altos, a parte central da sala e, especialmente, as áreas mais afastadas do eixo de incidência das luminárias registraram, na maior parte do tempo, iluminâncias entre 100 e 200 lux. Esses níveis estão abaixo do mínimo recomendado para garantir uma qualidade visual adequada. De acordo com a ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 (2013) - Iluminação de ambientes de trabalho - Parte 1: Interior, o valor mínimo de iluminância no plano de trabalho em salas de aula deve ser de 500 lux, de forma a assegurar conforto visual e desempenho adequado nas atividades.

Em contraste com o desempenho da iluminação artificial, a iluminação natural apresentou níveis de iluminância elevados em alguns pontos da sala. Nos locais próximos às janelas, com as cortinas abertas, os valores de iluminância foram mais elevados. O pico máximo registrado durante a medição foi de 1236 lux no ponto mais próximo à esquadria, evidenciando que a iluminação natural pode gerar altos contrastes visuais e ofuscamento, tornando o ambiente desconfortável para leitura e para atividades visuais detalhadas. Esse efeito normalmente é controlado pelo fechamento das cortinas; entretanto, como se tratam de cortinas do tipo blackout, o ambiente acaba com níveis muito baixos de iluminância, prejudicando a uniformidade da iluminação e o conforto visual dos ocupantes. As iluminâncias medidas na situação de cortina fechada são apresentadas na Figura 79.

Figura 79 - Iluminâncias (lux) medidas na sala 1 - cortinas fechadas (02/11/2025 15:00)



0-100 100-200 200-300

Fonte: Elaborado pela autora.

A Sala 2 é a mais representativa das salas de aula desta instituição e apresenta uma configuração arquitetônica característica. O pé-direito elevado no lado da lousa abriga uma janela alta, enquanto a parede oposta também possui esquadrias, indicando uma intenção projetual de ventilação natural por efeito de chaminé. Contudo, a orientação leste/oeste da sala resulta em intensa entrada de radiação solar direta por ambos os lados. Para mitigar essa insolação, a janela alta foi pintada de cor escura em todas as salas do Bloco A (Figura 80).

Figura 80 - Janela com pintura escura (Bloco A)

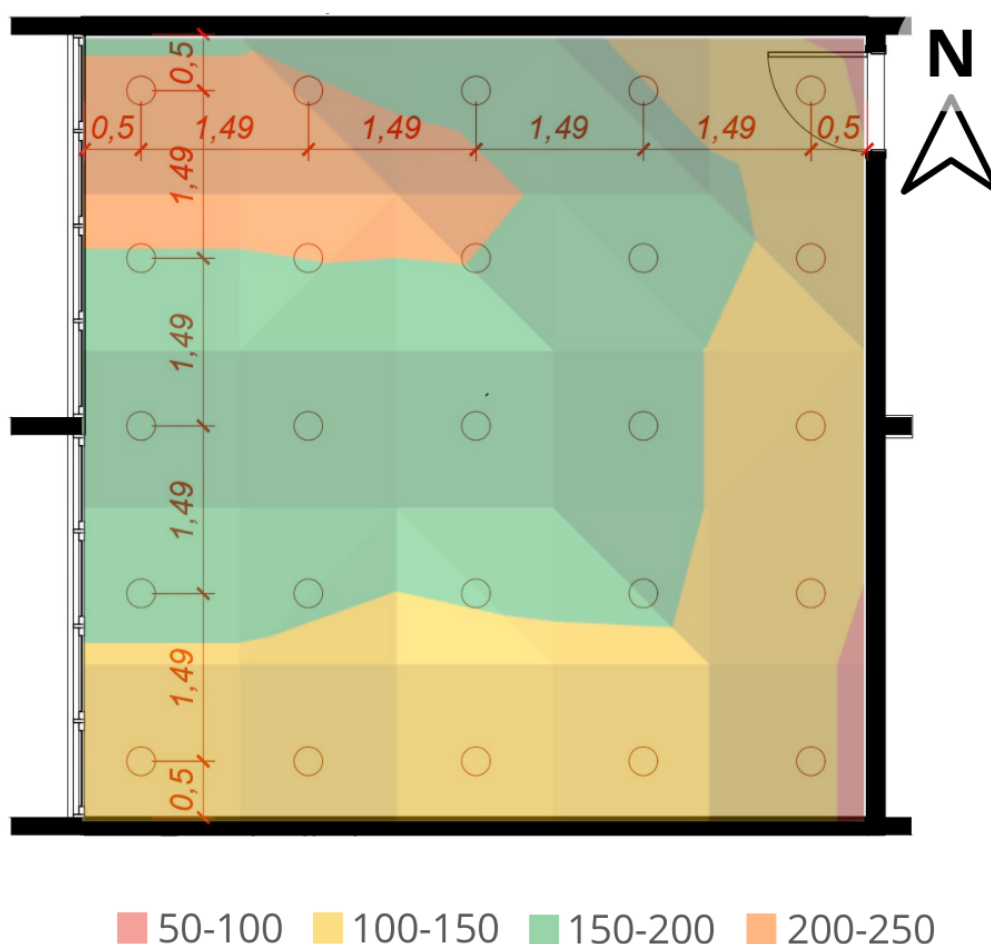


Fonte: Elaborado pela autora

Apesar das intervenções, o desconforto visual persiste. O registro observacional da segunda-feira (segunda medição - estação fria) confirmou o desconforto visual relatado pelos alunos, acarretado pelo ofuscamento direto causado pela intensa entrada de sol e pelo reflexo gerado na superfície da lousa.

As medições realizadas com cortinas fechadas evidenciaram a falta de iluminância na sala. A maior parte do ambiente registrou níveis entre 100 lux e 200 lux. Os valores de iluminância foram ainda menores na área de pé-direito mais alto, indicando entre 100 lux e 150 lux (Figura 81). Esses níveis estão significativamente abaixo do valor mínimo de 300 lux exigido para salas de aula, demonstrando a ineficácia do sistema de iluminação artificial.

Figura 81 - Iluminâncias (lux) medidas na sala 2 - cortinas fechadas
(02/11/2025 15:15)



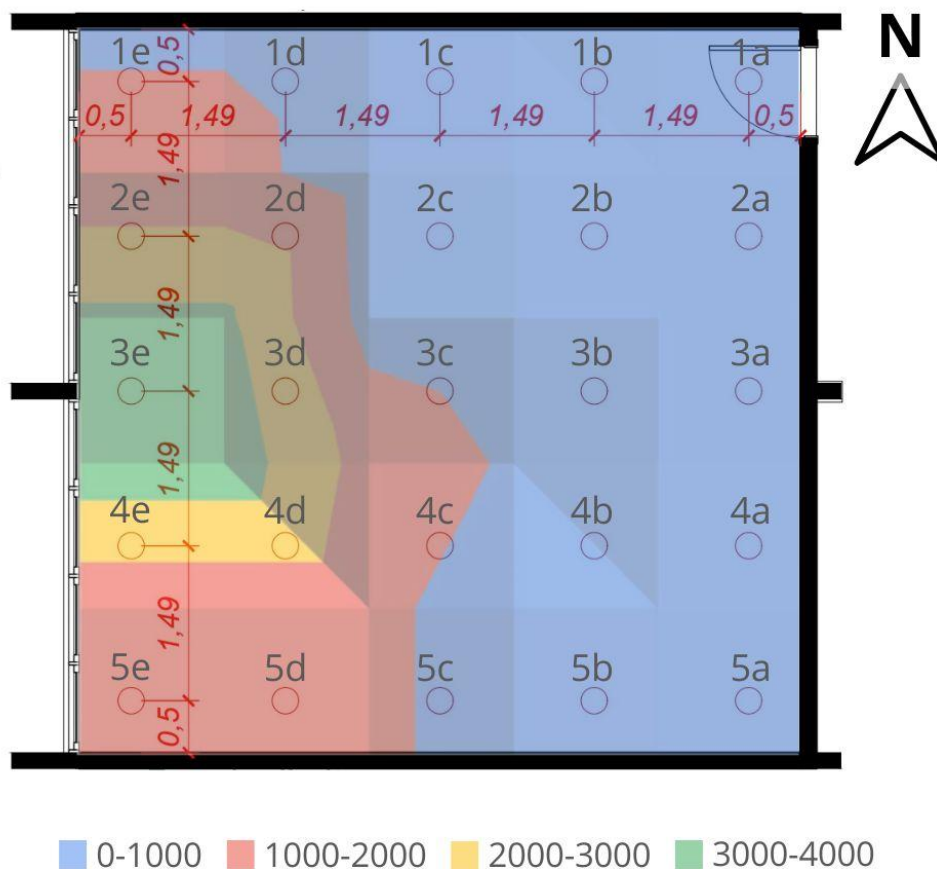
Fonte: Elaborado pela autora.

Com as cortinas abertas, a iluminância na Sala 2 atingiu níveis extremamente elevados apresentados na Figura 82 variando de 1000 lux a 3600 lux nas áreas adjacentes à janela (Tabela 8). Valores bastante superiores em comparação com o maior valor encontrado na Sala 1.

Essa entrada descontrolada de luz natural resultou em uma assimetria de iluminância crítica no ambiente. As duas primeiras fileiras próximas à entrada da sala registraram valores drasticamente inferiores, variando entre 147 lux e 250 lux. Esta disparidade massiva de iluminância (de 3600 lux na janela para 147 lux no interior) é a causa do ofuscamento por contraste e do desconforto visual relatado. O contraste excede os limites de uniformidade exigidos pelas normas, demandando um esforço constante de adaptação visual dos ocupantes.

Figura 82 - Iluminâncias (lux) medidas na sala 2 - cortinas abertas

(02/11/2025 15:20)



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 8 - Valores de iluminância (lux) por ponto da malha

		Posição na malha				
		1	2	3	4	5
Posição na malha	a	174	162	192	210	147
	b	226	244	271	310	261
	c	364	320	365	878	457
	d	510	568	675	1620	1252
	e	880	1290	3200	3600	1252

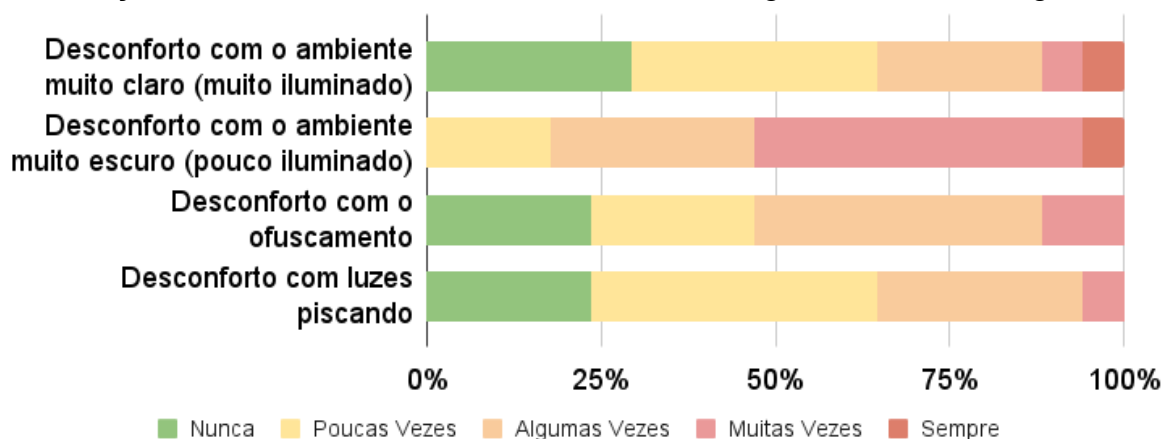
Fonte:Elaborado pela autora.

As lâmpadas instaladas na sala estão todas posicionadas na altura da laje superior, acompanhando o pé-direito elevado. Essa configuração aumenta a distância entre as luminárias e o plano de trabalho, o que reduz a iluminância disponível sobre as superfícies de estudo.

Apesar do domínio visual ter sido indicado como o de menor insatisfação no questionário, os resultados também confirmaram os valores medidos. Mais de 50% dos respondentes relataram desconforto devido ao ambiente pouco iluminado, indicando “muitas vezes” ou “sempre” para essa questão (Figura 83). Ao mesmo tempo, os participantes apontaram baixa disponibilidade de iluminação artificial na sala (Figura 84).

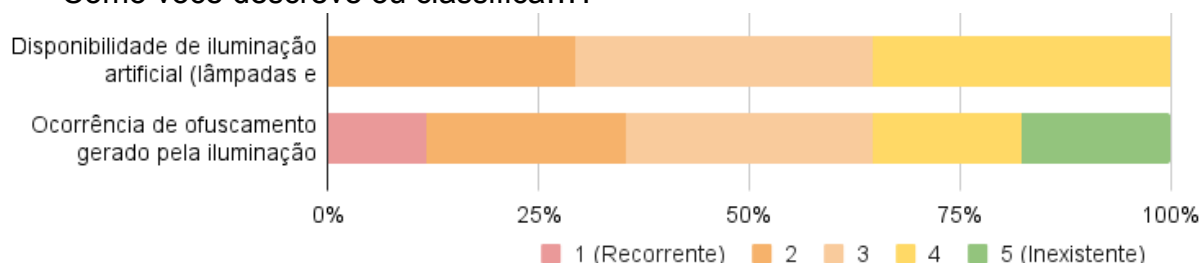
Figura 83 - Sintomas relacionados ao domínio visual

“Com relação ao conforto visual, você costuma sentir algum dos itens a seguir?”



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 84 - Percepção da disponibilidade de iluminação artificial e ofuscamento
 “Como você descreve ou classifica...?”

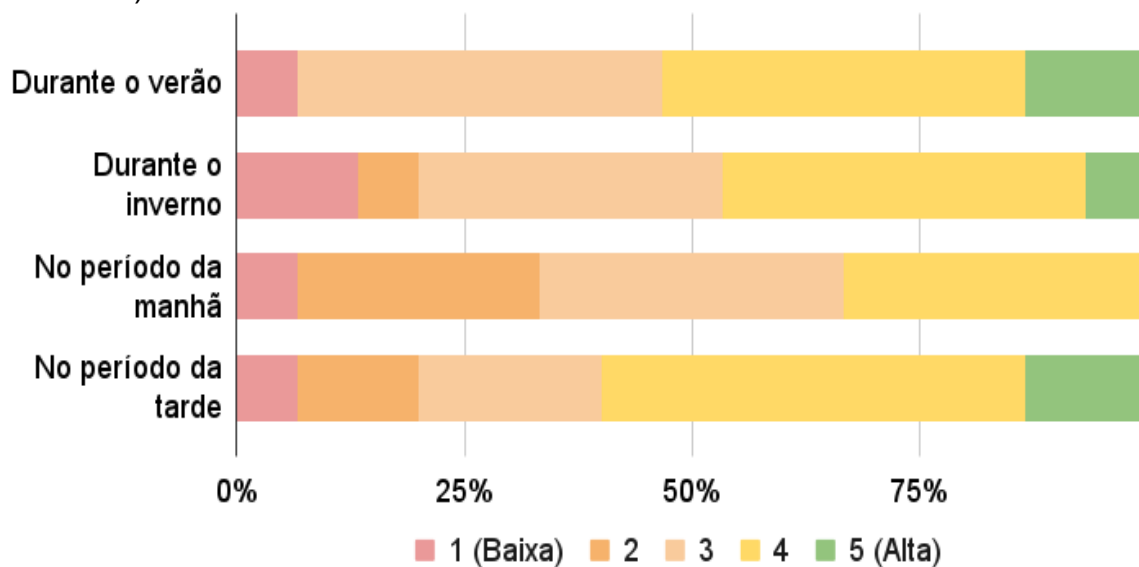


Fonte: Elaborado pela autora.

A alta percepção de disponibilidade de iluminação natural foi amplamente registrada entre os usuários, com cerca de 60% dos respondentes indicando alta disponibilidade no período da tarde e mais de 50% nos meses quentes (verão). Essa percepção elevada, que ultrapassou 25% dos votos em todos os períodos avaliados, reafirma os valores de alta iluminância medidos anteriormente, os quais demonstraram que a luz natural atinge níveis críticos mesmo em dias nublados. Essa alta disponibilidade está associada à ocorrência de ofuscamento por contraste. O período com maior recorrência de ofuscamento foi o período da tarde, concentrando cerca de 40% dos votos nas categorias de maior frequência (1 e 2). Curiosamente, o inverno foi relatado como o período de maior inexistência de ofuscamento, apesar de também ter apresentado a mesma porcentagem de votos para a ocorrência, o que sugere uma divisão na percepção do desconforto, possivelmente devido à variação no uso de dispositivos de controle (como cortinas) ou à influência da insolação direta. Esses resultados são apresentados nas Figuras 85 e 86.

Figura 85 - Percepção da disponibilidade de iluminação natural

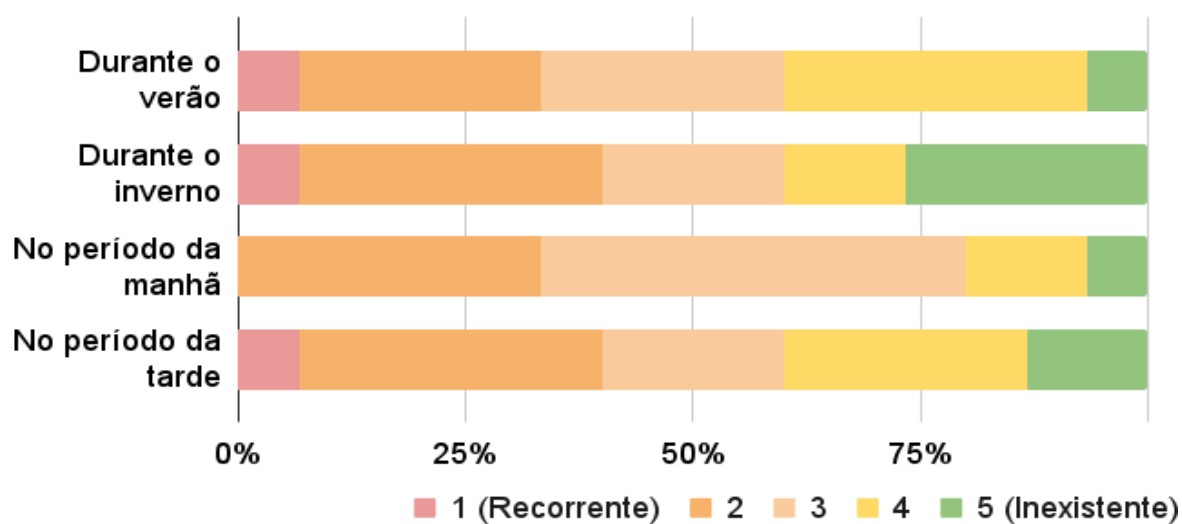
“Como você descreve ou classifica a disponibilidade de iluminação natural (luz do sol e do céu)?”



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 86 - Percepção sobre a ocorrência de ofuscamento gerado pela iluminação natural

“Como você descreve ou classifica a ocorrência de ofuscamento gerado pela iluminação natural?”

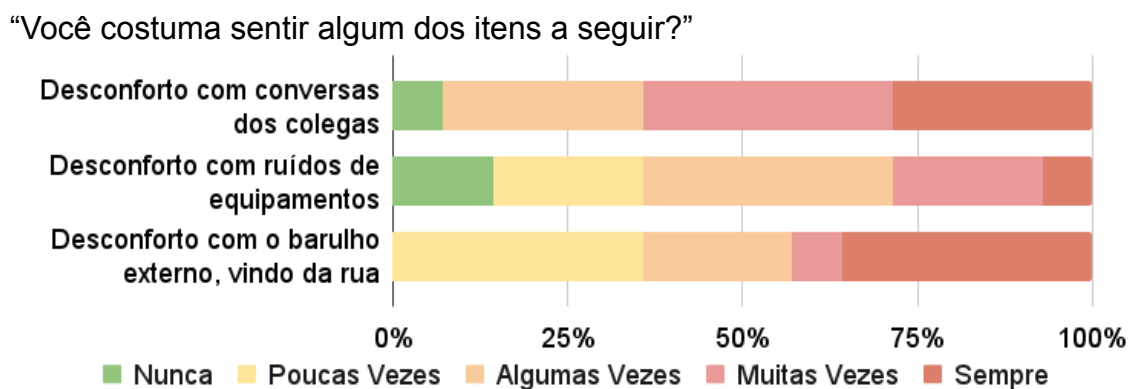


Fonte: Elaborado pela autora.

4.2.4. Acústico

O domínio acústico não foi objeto de medição instrumental e apresentou uma limitação metodológica: houve uma falha na lógica de filtragem do questionário, direcionando as perguntas sobre acústica apenas para os indivíduos que previamente indicaram insatisfação com a iluminação. Sendo assim, a amostra de respondentes neste domínio é reduzida, representando apenas 25% do total de funcionários. Apesar dessa limitação amostral, julgou-se necessário apresentar os resultados, dada a relevância do domínio acústico, especialmente em escolas, onde o desconforto acústico é um fator que muitas vezes motiva o fechamento de janelas e portas, impactando a ventilação. A maior parte dos respondentes que chegaram a esta seção indicou o ambiente acústico como desconfortável. O desconforto foi relatado principalmente em relação à conversa do próprio grupo e ao ruído externo proveniente da rua (Figuras 87 e 88).

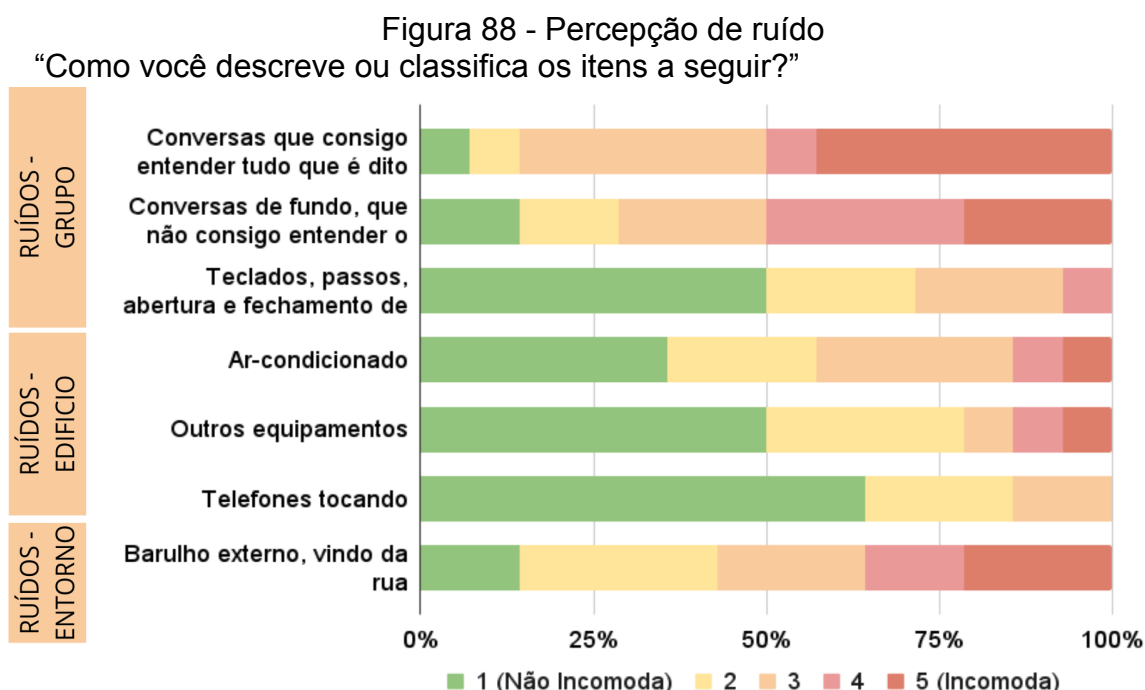
Figura 87 - Sintomas relacionados ao domínio acústico.



Fonte: Elaborado pela autora.

Apesar disso, observa-se como um aspecto positivo do projeto a setorização promovida pelo zoneamento da planta baixa. As salas de aula estão organizadas em blocos próximos à área de acesso e ao pátio central, enquanto as atividades de maior impacto sonoro, como o refeitório e as quadras poliesportivas, foram posicionadas em setores mais afastados. Essa disposição contribui para reduzir a

interferência sonora nas salas de aula, promovendo um ambiente mais confortável acusticamente.



Fonte: Elaborado pela autora

Todas as salas de aula dos Blocos A e B possuem portas com fechadura antivandalismo escolar, que só permite abertura pelo lado interno ou abertura com chave pelo lado externo. Durante o período de observação, verificou-se que esse mecanismo contribui para a redução do conforto acústico, pois as portas permanecem frequentemente entreabertas, comprometendo o isolamento sonoro das salas. A percepção do ambiente foi investigada por meio de um questionário transversal, aplicado a toda a equipe escolar, incluindo professores, funcionários administrativos e de apoio. Embora tenha havido diversidade entre os participantes, a maior parte dos respondentes era composta por professores, refletindo a experiência desses profissionais com o uso cotidiano das salas de aula e a percepção das condições de conforto acústico.

4.2.5. Síntese dos Resultados da QAI

O questionário aplicado mostrou-se eficaz na identificação das principais deficiências relacionadas à Qualidade do Ambiente Interno (QAI), funcionando como um ponto de partida para a compreensão das condições ambientais da escola. Os funcionários demonstraram serem respondentes representativos, validando a decisão de não incluir os alunos e simplificando aspectos éticos e metodológicos da aplicação. Além disso, a utilização do *Occupant Satisfaction Survey* (OSS) (Castro, 2025) como referência contribui para a criação de uma base de dados de satisfação dos ocupantes, permitindo análises comparativas futuras entre diferentes tipologias de edifícios, como escolas e escritórios.

Entre as principais deficiências apontadas pelo questionário, destacaram-se: baixa densidade de potência de iluminação, uso de ar-condicionado sem renovação de ar, e hábitos dos ocupantes que impactam o consumo energético, como o funcionamento do ar-condicionado com janelas abertas ou o esquecimento de luzes acesas em espaços não utilizados.

Neste estudo de caso, embora a iluminação natural seja elevada, sua alta disponibilidade nem sempre representa um aspecto positivo. A orientação Leste/Oeste do edifício e a abertura das cortinas geram grandes variações de iluminância e podem causar ofuscamento, tornando o ambiente desconfortável para atividades de sala de aula. Ao mesmo tempo, a baixa densidade de potência de iluminação artificial indica insuficiência de iluminância no plano de trabalho, limitando a adequação do espaço para atividades escolares, uma percepção confirmada pelas respostas dos ocupantes. Esses achados evidenciam que altos níveis de luz natural sem controle adequado não garantem conforto visual, sendo necessária uma gestão equilibrada entre a iluminação natural e a artificial.

Outro ponto relevante identificado refere-se ao uso contínuo de ar-condicionado do tipo split durante as estações quentes. Embora o equipamento reduza a temperatura do ar e contribua para o conforto térmico, a ausência de renovação de ar resulta em elevadas concentrações de CO₂ nas salas de aula, um resultado confirmado pelas respostas do questionário. Os ocupantes relataram sintomas relacionados à presença de cheiros e odores no ambiente, além de

sonolência, e, durante o período de observação, constatou-se que essas condições motivaram a abertura das janelas enquanto o ar-condicionado estava em funcionamento. Como consequência, observa-se sobrecarga nos condicionadores de ar, que, embora o setpoint indicado pela direção escolar seja de 21°C, são algumas vezes utilizados com as janelas abertas simultaneamente, evidenciando práticas de operação ineficientes.

Quanto à densidade de potência de equipamentos (DPE), embora valores baixos possam sugerir eficiência energética, este estudo revelou variações consideráveis entre diferentes tipos de ambientes. Tal resultado indica que adotar uma DPE geral para toda a edificação pode superestimar ou subestimar o consumo real, não refletindo com precisão as demandas específicas de cada subárea. Além disso, seria necessário realizar uma avaliação para verificar se os equipamentos disponíveis na escola são adequados à rotina diária e às práticas pedagógicas. Uma limitação deste estudo é que não permite avaliar de forma completa se o dimensionamento e a disponibilidade dos equipamentos atendem às necessidades da rotina escolar e das práticas pedagógicas. Para isso, seria necessário um trabalho interdisciplinar, envolvendo outras áreas, como a pedagogia, de modo a considerar de forma adequada às diferentes atividades e usos do ambiente escolar.

Por fim, a operação dos sistemas e os hábitos dos ocupantes influenciaram tanto o desempenho energético quanto o conforto ambiental. Durante o período de observação, foram registrados comportamentos como a abertura de janelas em resposta a odores, o bloqueio de janelas com pintura escura para reduzir a insolação direta e o esquecimento de luzes acesas em ambientes não utilizados. Esses exemplos evidenciam que o desempenho dos sistemas e a interação dos usuários estão interligados, reforçando a necessidade de avaliar a satisfação ambiental de forma integrada, considerando simultaneamente os aspectos físicos do edifício e as percepções e práticas de seus ocupantes.

4.3. PROPOSTAS DE INTERVENÇÃO NA EDIFICAÇÃO

A definição das propostas de intervenção foi baseada no diagnóstico das principais deficiências identificadas na avaliação da qualidade do ambiente interno.

As intervenções foram organizadas na Tabela 9 por categorias, como iluminação e climatização, detalhando o objetivo de cada medida.

Para identificar e diferenciar os cenários, foi adotado um sistema de nomenclatura padronizado: a sigla indica a categoria da intervenção, enquanto a numeração sequencial identifica o cenário específico dentro de cada categoria. As siglas utilizadas são: IL para Iluminação, CL para Climatização, VN para Ventilação Natural e COM para Cenário Combinado, que reúne intervenções de diferentes categorias.

Para avaliar o impacto dessas propostas, os cenários foram incorporados ao modelo computacional previamente calibrado, permitindo a comparação entre o cenário atual e os cenários otimizados,

Tabela 9 - Caracterização das Propostas de Intervenção

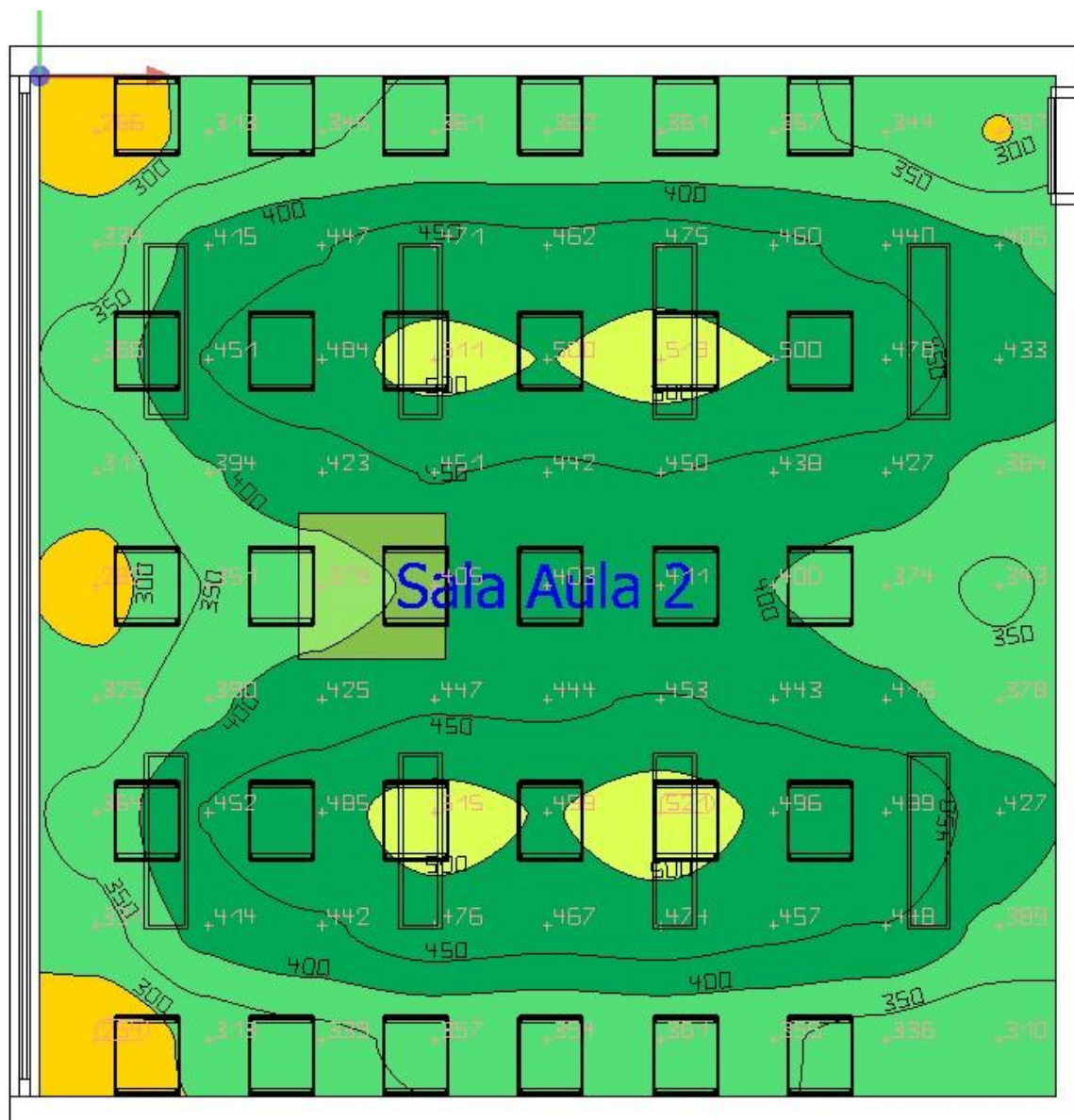
Cenário	Categoria	Descrição	Deficiência identificada	Objetivo da medida
CEN IL1	Iluminação	Ajuste da iluminação para 500 lux	Insuficiência de níveis lumínicos nos planos de trabalho	Adequar a iluminância às normas vigentes
CEN IL 2	Iluminação	CEN IL 1 + controle da iluminação artificial	Ausência de setorização ou de controle acionamento	Reduzir o consumo elétrico do sistema de iluminação
CEN IL 3	Iluminação	CEN IL 2 + Substituição de cortinas blackout por telas solares	Bloqueio excessivo da luz natural e uso constante de luz artificial	Otimizar a luz natural e reduzir o risco de ofuscamento
CEN CL 1	Sistema de climatização	Implementação de sistema de renovação de ar	Concentração elevada de CO ₂	Melhorar a qualidade do ar interno

CEN VN 1	Ventilação Natural	Abertura das janelas altas e implementação de vidro de controle solar	Falta de mecanismo de abertura nas janelas superiores do bloco A	Melhorar a qualidade do ar interno
CEN COM 1	Combinação da CEN IL 2 e CEN CL 1	Combinação das anteriores	Deficiências simultâneas iluminação ventilação	Avaliar o impacto sinérgico das medidas propostas

Fonte: Elaborado pela autora.

O cenário 1 (CEN IL1) consistiu na simulação da sala de aula 2 através do software *DIALux Evo*, visando adequar os níveis de iluminância aos parâmetros normativos vigentes. O objetivo foi garantir uma iluminância mantida entre 300 lux e 500 lux no plano de trabalho, conforme indicado para ambientes de ensino. Para a composição do novo cenário de iluminação, foram selecionadas oito luminárias do tipo painel de LED de sobrepor, com potência de 40W e fluxo luminoso de 3.000 lúmens (lm) cada. As unidades apresentam geometria retangular (120 x 30 cm) e temperatura de cor branca, sendo distribuídas de modo a garantir a uniformidade necessária ao ambiente de ensino. Os níveis de iluminância variaram entre 450 lux, na parte mais central da sala, e 300 lux, nas áreas mais próximas às paredes, conforme apresentado na Figura 89.

Figura 89 - Iluminância planejada para o cenário CEN IL 1



Fonte: Elaborado pela autora.

Para a simulação do cenário no programa *DiaLux Evo*, as luminárias foram posicionadas a uma altura de montagem de 2,60 m; ressalta-se que, devido à configuração arquitetônica do Bloco A, foram configuradas como pendentes para garantir a distribuição adequada da luz no plano de trabalho. A avaliação do desempenho lumínico resultou em um índice de ofuscamento (UGR) de 16,5, valor que assegura o conforto visual no ambiente. O sistema de iluminação proposto, com Densidade de Potência de Iluminação (DPI) de 6,62 W/m², foi inserido no programa

EnergyPlus para simular o impacto energético. Os resultados indicaram um acréscimo de 12,4% no consumo de energia em relação ao modelo calibrado. Esse aumento justifica-se pela necessidade de adequação dos níveis de iluminância, visto que o cenário original apresentava valores inferiores ao mínimos normativos exigidos para o conforto visual.

O cenário CEN IL 2 consistiu na combinação entre a CEN IL 1 e a implementação do controle da iluminação artificial em função da luz natural disponível. Para isso, foram configurados sensores de iluminância (fotocélulas) no *EnergyPlus*, localizados no centro geométrico de cada sala e posicionados à altura do plano de trabalho. A lógica de controle estabelecida determinou o desligamento automático das luminárias sempre que a contribuição da luz natural atingisse 500 lx, otimizando o consumo de energia do sistema. Adicionalmente, utilizou-se o cronograma de acionamento da iluminação externa, abrangendo os corredores e o refeitório. No cenário atual, estas luminárias operam ininterruptamente (24 horas por dia). No CEN IL 2, contudo, o período de funcionamento foi restringido ao intervalo das 19h00 às 07h00. Essa alteração visa cobrir apenas o período de ausência da vigilância, eliminando o desperdício energético durante o dia e nos horários de ocupação escolar. Os resultados indicaram que a implementação das intervenções propostas nesse cenário atenuou o impacto energético da adequação lumínica, resultando em um acréscimo de 2,3% em relação ao consumo do modelo calibrado. Essa redução, quando comparada ao cenário do CEN IL 1, demonstra a eficácia do controle por sensores e do ajuste operacional da iluminação externa na mitigação do consumo excessivo.

O cenário CEN IL 3 manteve as configurações da estratégia anterior, substituindo, contudo, as cortinas do tipo *blackout* por telas solares de alto desempenho. Esta medida resultou em um aumento de 1,4% no consumo anual em relação ao modelo calibrado, com desempenho energético superior ao CEN IL 2. No entanto, a redução pouco relevante no consumo (0,9% de diferença entre as duas medidas) sugere uma baixa relação custo-benefício, visto que a substituição integral dos elementos de sombreamento demandaria um investimento inicial maior para um ganho energético pouco expressivo.

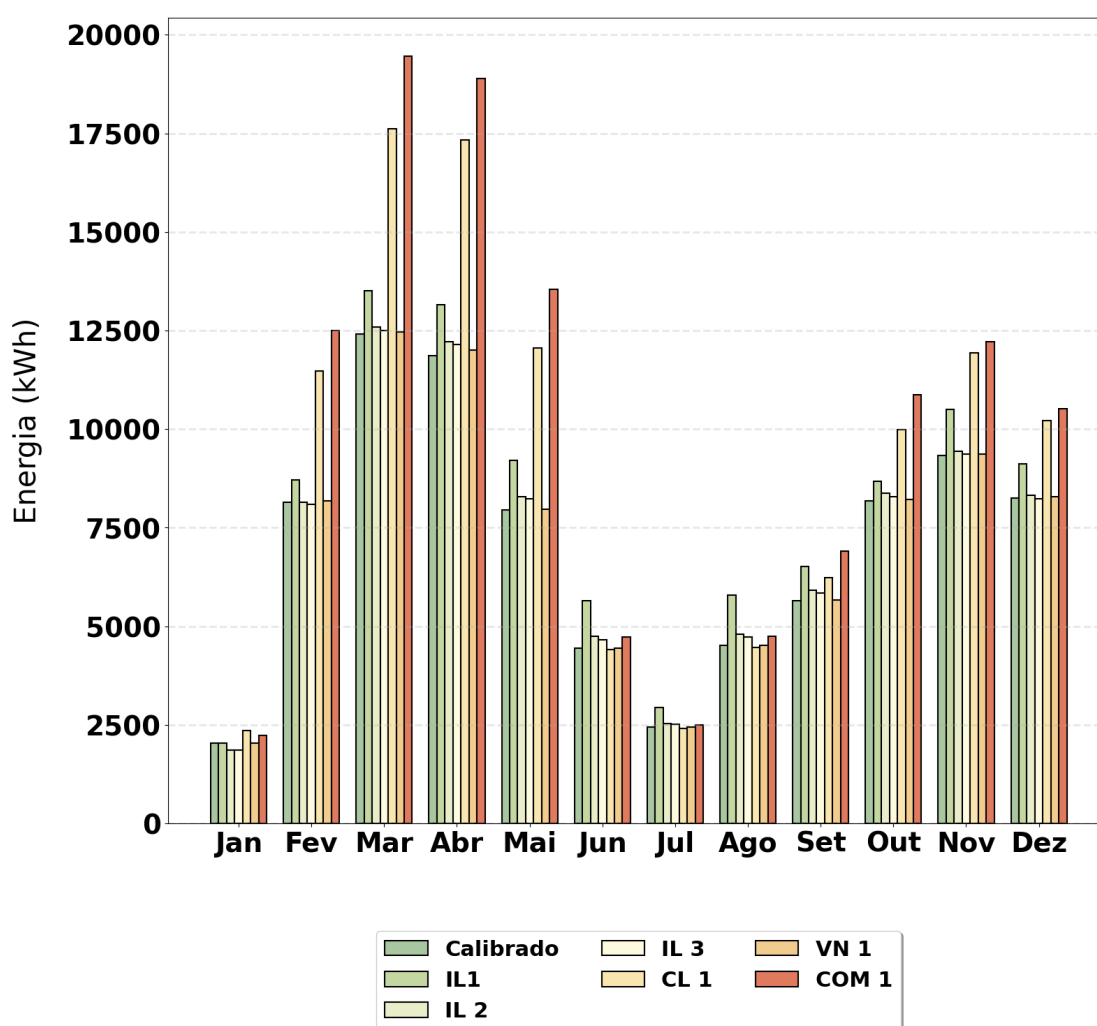
O CEN CL 1 consistiu na implementação do sistema de renovação de ar, adotando-se a vazão de 27 m³/h por pessoa, conforme estabelecido pela Resolução RE nº 09 da ANVISA (2003). A simulação desta medida resultou em um acréscimo de 26,6% no consumo de energia em relação ao modelo calibrado. Vale destacar que o resultado obtido foi dividido pelo mesmo CEE do sistema atual, o que aumentou artificialmente o consumo simulado. O aumento observado justifica-se pela carga térmica adicional proveniente do ar externo, que exige maior trabalho do sistema de climatização para o resfriamento e a desumidificação do ar admitido. Para uma redução efetiva do consumo, seria necessário projetar uma estratégia de renovação de ar mais eficiente, capaz de atender aos critérios de qualidade do ar sem elevar significativamente a demanda energética.

O CEN VN 1 avaliou, de forma isolada sobre o modelo calibrado, o impacto da substituição dos vidros existentes (simples com pintura verde) por vidros de controle solar com menor absortância e maior refletância, somada à viabilização da abertura das janelas superiores no Bloco A, que atualmente são fixas. O vidro escolhido para a alteração é o “REF A CLEAR LO 6MM”, disponível na biblioteca de materiais dos *Example Files* do *EnergyPlus*, caracteriza-se como um vidro refletivo de controle solar, com baixo fator de transmitância solar (0,20), contribuindo para a redução dos ganhos térmicos através das superfícies transparentes. Em contrapartida, apresenta baixo fator de transmitância visível (0,22), o que limita o aproveitamento da iluminação natural. Contrariando a expectativa inicial de redução, a simulação indicou um acréscimo residual de 0,4% no consumo de energia anual. Este resultado sugere uma possível neutralização do benefício térmico dos novos vidros pela entrada de ar externo por meio das janelas altas. Esse resultado indica que o ganho térmico proporcionado pela ventilação natural superou a economia obtida com os novos vidros.

O cenário CEN COM 1 consistiu na integração das estratégias de controle de iluminação (CEN IL 1) e de renovação de ar (CEN CL 1), representando um cenário de operação combinada. Os resultados indicaram um acréscimo de 39,7% no consumo total em relação ao modelo calibrado. Esse incremento, embora superior às medidas isoladas, reflete o impacto conjunto da adequação dos níveis de iluminância e da garantia da qualidade do ar interno, consolidando as demandas

necessárias ao pleno atendimento das normas de qualidade do ambiente interno (QAI). A Figura 90 detalha a comparação mensal entre os cenários, evidenciando que a maior disparidade de consumo ocorre em março, abril e maio. Esse comportamento é justificado pela elevada umidade relativa do período. Com a implementação da renovação de ar, o sistema de climatização passa a demandar maior esforço para tratar a carga latente, elevando o consumo energético para desumidificar o ambiente.

Figura 90 - Comparação entre os cenários de MEE



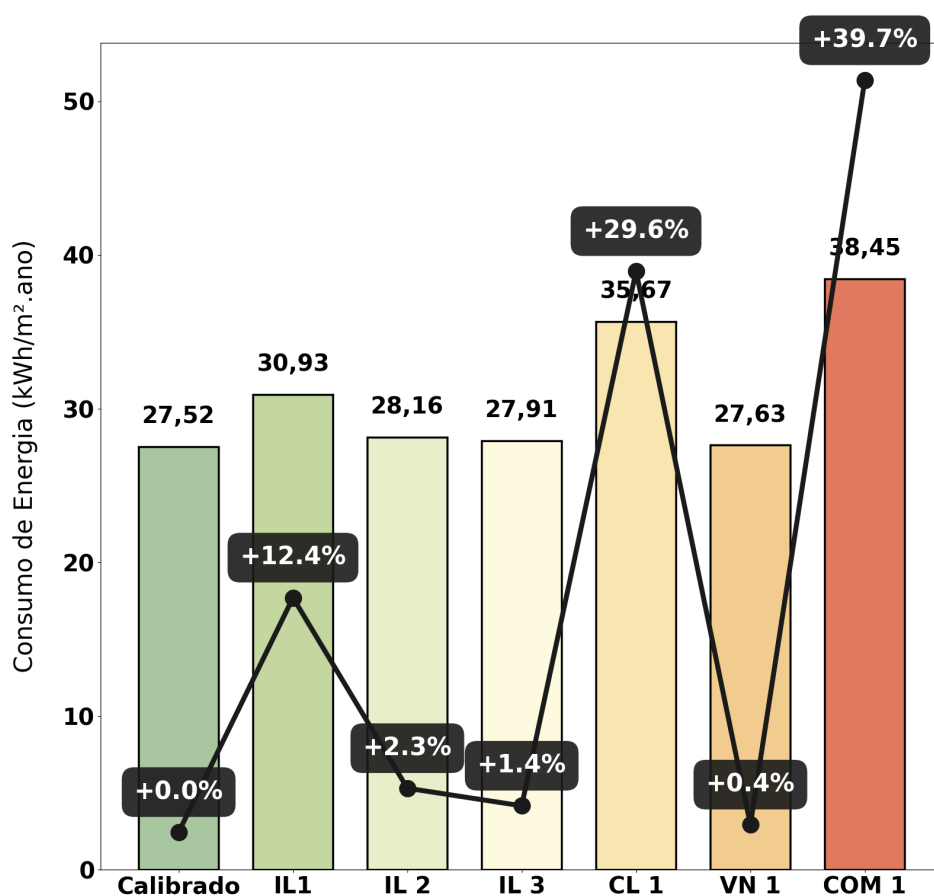
Fonte: Elaborado pela autora.

Em síntese, ainda que as medidas de eficiência propostas tenham elevado o consumo anual, com destaque para o acréscimo de 39% no cenário combinado (COM 1), tais intervenções são necessárias. Ao mesmo tempo, é possível adotar estratégias que conciliem melhorias no conforto com baixo impacto energético, como

demonstram o cenários CEN IL 1 e CEN IL 2. No CEN IL 1, a adequação da iluminação elevou o consumo em 12,4%, enquanto no CEN IL 2, a implementação de controle automático por sensores e o ajuste do cronograma da iluminação externa reduziram esse impacto para apenas 2,3%, evidenciando a eficácia de medidas inteligentes de operação e controle.

A avaliação da Qualidade do Ambiente Interno (QAI) demonstrou que a edificação opera, atualmente, em desconformidade com os parâmetros normativos de iluminância e renovação de ar. Este diagnóstico é corroborado pela insatisfação dos ocupantes registrada nos questionários aplicados. Portanto, o incremento energético não configura ineficiência, mas sim o aporte necessário para mitigar as deficiências ambientais. A Figura 91 ilustra a comparação do consumo elétrico anual e a variação percentual de cada medida em relação ao cenário base.

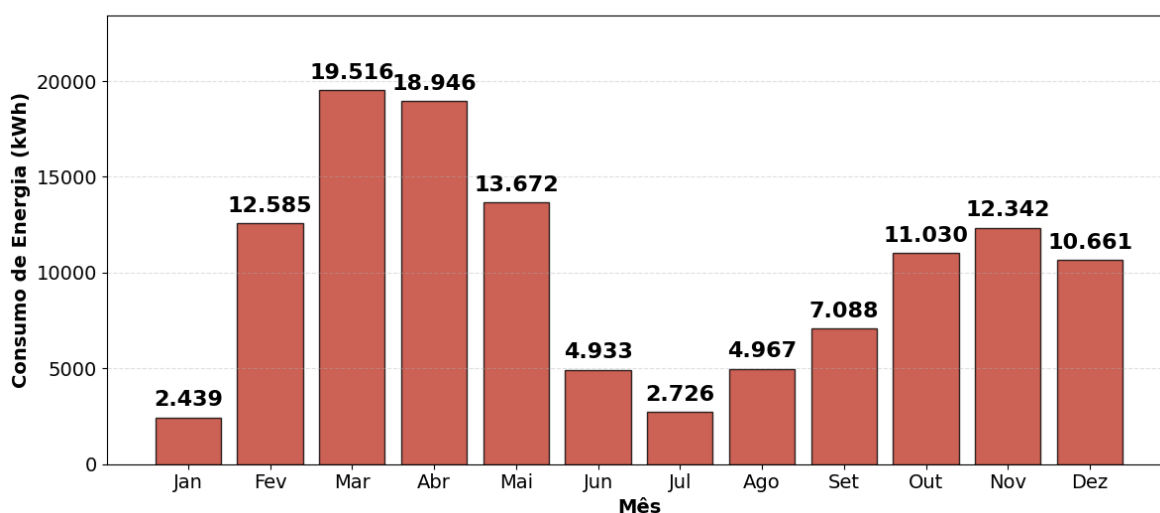
Figura 91 - Comparação consumo anual por m² e variação percentual entre os cenários



Fonte: Elaborado pela autora.

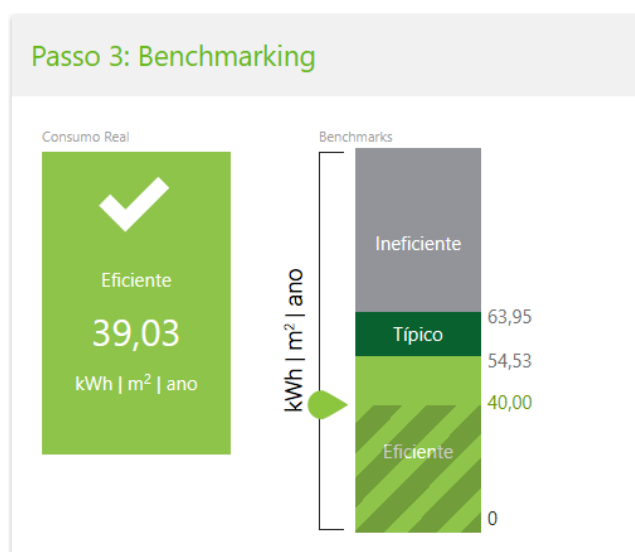
A inserção dos resultados do cenário combinado (CEN COM 6) no sistema de *benchmarking* DEO confirma que a edificação permanece em uma faixa de consumo reduzida. Mesmo com a atualização da densidade de potência de iluminação (DPI) e da renovação de ar, o índice é de 39,03 kWh/m².ano situa-se abaixo dos 54,53 kWh/m².ano, valor que delimita o início da faixa de consumo típica indicada pelo DEO (Figura 93).

Figura 92 - Consumo de energia mensal - cenário MEE 6



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 93 - *Benchmarking* energético DEO - Cenário MEE 6



Fonte: Elaborado pela autora.

A implementação de sistemas de renovação de ar para melhorar a qualidade do ambiente interno tende a aumentar significativamente o consumo energético da edificação em Florianópolis, especialmente devido à carga latente associada à umidade do ar externo, que exige maior resfriamento do sistema de climatização para manter o conforto térmico. Para reduzir esse impacto, é necessário adotar sistemas e equipamentos de climatização mais eficientes, capazes de fornecer refrigeração e renovação de ar fresco com menor consumo energético, além de implementar estratégias de controle da ventilação baseadas em sensores de CO₂. Os splits atualmente instalados na escola possuem, em sua maioria, CEE de 3,24 e constam na lista antiga do Inmetro, refletindo tecnologias já superadas em termos de eficiência. Atualmente, existem equipamentos que podem oferecer maior eficiência e menor consumo energético, o que permitiria implementar a renovação de ar de forma adequada sem comprometer significativamente o consumo energético total da edificação. Essa atualização tecnológica é essencial para conciliar a melhoria da qualidade do ar interno com a eficiência energética, garantindo conforto e sustentabilidade simultaneamente.

Embora o foco deste estudo recaia sobre as intervenções detalhadas na Tabela 9, selecionadas pela viabilidade de modelagem e pela relevância no desempenho termo-energético, o potencial de otimização da edificação admite um espectro mais amplo de ações. No campo da operação e gestão, medidas de baixo custo podem ser implementadas de imediato, como o ajuste da demanda contratada e a adoção de protocolos de conscientização para o uso racional de sistemas e de iluminação. Recomenda-se também a atualização tecnológica via Selo Procel Etiqueta A dos equipamentos com etiqueta inferior, a manutenção e limpeza dos filtros dos equipamentos de ar-condicionado, que contribuem para a melhoria da qualidade do ar interno, aumento da eficiência energética e prolongamento da vida útil dos equipamentos e a instalação de mecanismos de acionamento manual nas janelas altas do Bloco A, visando facilitar a ventilação natural. Por fim, intervenções na envoltória, como o incremento do sombreamento nas fachadas, principalmente nas janelas superiores do bloco A que são responsáveis pelo ofuscamento por sol direto na mesa ou nos ocupantes, complementam o conjunto de estratégias identificadas para otimizar o desempenho global da edificação.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma avaliação do consumo de energia e da qualidade do ambiente interno (QAI) em uma escola de ensino fundamental localizada em Florianópolis/SC, por meio de uma abordagem de avaliação pós-ocupação que combinou auditoria energética, medições físicas, aplicação de questionários e simulação computacional calibrada. A pesquisa partiu da interdependência do desempenho energético com as condições ambientais internas e o comportamento dos ocupantes, especialmente em edificações educacionais.

A caracterização do consumo energético evidenciou que a escola apresenta valores relativamente baixos de densidade de potência de iluminação (DPI) e de densidade de potência de equipamentos (DPE) quando comparados a referências normativas, indicando que o consumo elevado observado em determinados períodos está fortemente associado às condições de operação e aos hábitos dos usuários. O uso intensivo de sistemas de resfriamento, aliado à ausência de renovação de ar adequada, mostrou-se um fator crítico tanto para o aumento do consumo de energia quanto para a degradação da qualidade do ar interno.

A avaliação da qualidade do ambiente interno revelou desconfortos recorrentes nos domínios térmico, visual e da qualidade do ar, confirmados tanto por medições objetivas quanto pela percepção dos ocupantes. Episódios de elevadas concentrações de CO₂, associados ao fechamento de janelas durante a operação do ar-condicionado, indicam uma estratégia de uso ineficiente que busca compensar as deficiências do edifício e de seus sistemas. Esses resultados evidenciam um cenário em que o consumo de energia não se traduz em conforto adequado, saúde e bem-estar dos ocupantes.

A análise integrada dos dados permitiu compreender a interdependência entre QAI e o consumo energético, demonstrando que ações isoladas voltadas exclusivamente à redução do consumo podem comprometer ainda mais as condições ambientais internas. Por outro lado, melhorias na QAI, quando não acompanhadas de estratégias eficientes de projeto e operação, podem resultar no aumento do consumo de energia. Esse dilema reforça a importância de abordagens integradas no planejamento de intervenções em edificações escolares.

A simulação computacional calibrada mostrou-se uma ferramenta indispensável para testar cenários e avaliar o impacto de medidas de eficiência energética, destacando-se como um apoio relevante à tomada de decisão. As medidas propostas, fundamentadas nas deficiências identificadas na QAI, demonstraram potencial de redução do consumo energético, ao mesmo tempo em que contribuem para a melhoria das condições ambientais internas, desde que associadas a soluções eficientes e à orientação adequada dos usuários.

Como limitações do estudo, destacam-se a análise de um único estudo de caso, a restrição temporal das campanhas de medição e a impossibilidade de avaliar, em operação real, o impacto das medidas propostas. Soma-se a isso o fato de que estudos dessa natureza, em geral, se concentram em um número reduzido de salas de aula, o que limita a representatividade dos resultados tanto para a edificação como um todo quanto para o conjunto de edificações escolares. Os resultados de consumo de energia desta escola não puderam ser comparados com os demais estabelecimentos do município, uma vez que os dados disponíveis são incompletos e não permitem estimar um consumo real por metro quadrado.

Adicionalmente, observa-se a dificuldade de integração entre dados objetivos e subjetivos, uma vez que a correlação entre medições físicas (como temperatura, iluminância, concentração de CO₂ e consumo energético) e a percepção dos usuários nem sempre se mostra direta. Ressalta-se ainda que os resultados são fortemente dependentes das condições climáticas locais, o que restringe sua extrapolação para outras regiões. Por fim, a interferência no funcionamento pedagógico impõe limitações à instalação de equipamentos e à realização de medições durante o período letivo.

Além disso, o modelo energético calibrado constitui uma aproximação do consumo real de energia, estando sujeito a incertezas inerentes ao processo de modelagem. Essas incertezas decorrem, principalmente, da variabilidade dos hábitos dos ocupantes e da ausência de medições específicas dos equipamentos de condicionamento de ar.

Destaca-se, ainda, como limitação, a não proposição e avaliação de um sistema de climatização com estratégias de controle de ventilação, contemplando renovação de ar controlada por demanda e acionamento baseado na concentração

de CO₂, o que poderia contribuir simultaneamente para a melhoria da qualidade do ar interno e para a redução do consumo energético.

Ainda assim, os resultados obtidos fornecem subsídios importantes para o aprimoramento de políticas públicas, a gestão energética de escolas e o desenvolvimento de parâmetros mais realistas para simulações energéticas de edificações educacionais. Ao evidenciar a relação entre consumo de energia, conforto e operação dos ocupantes, o estudo oferece informações que podem orientar programas e estratégias voltadas à eficiência energética. Os dados sobre padrões de consumo, uso de sistemas de climatização e comportamento dos usuários permitem à administração escolar planejar medidas de operação e manutenção mais eficazes. Além disso, a integração de auditoria, medições físicas, questionários e simulações calibradas possibilita a definição de parâmetros de uso, horários de ocupação e condições internas mais realistas.

Futuros estudos podem utilizar o método de avaliação integrada proposto, que combina medições de qualidade do ambiente interno (QAI), auditorias energéticas, questionários e simulações calibradas, para analisar a relação entre consumo de energia, operação de sistemas e conforto dos ocupantes em edificações educacionais. Considerando a diversidade de abordagens existentes para integrar desempenho energético e condições ambientais internas, trabalhos subsequentes podem realizar revisões de literatura para consolidar metodologias e comparar procedimentos.

Por fim, recomenda-se que estudos futuros ampliem a amostra de edificações analisadas, integrem campanhas de monitoramento de longo prazo e avaliem a viabilidade prática das medidas propostas, incluindo estratégias educativas voltadas aos usuários. Sugere-se, ainda, a proposição e avaliação de sistemas de climatização dotados de estratégias de controle e ventilação, como a renovação de ar controlada por demanda com base na concentração de CO₂, considerando seus impactos integrados sobre o consumo energético e a qualidade do ambiente interno.

Adicionalmente, recomenda-se a incorporação de abordagens interdisciplinares, como a psicologia ambiental, para uma compreensão mais aprofundada dos comportamentos, percepções e hábitos dos ocupantes, bem como

da pedagogia, a fim de avaliar se o ambiente escolar está efetivamente adequado às atividades pedagógicas que deve acolher. Tais abordagens podem contribuir para o desenvolvimento de diretrizes mais abrangentes e sensíveis às especificidades do contexto educacional.

REFERÊNCIAS

AHMED, Kaiser; HASU, Tero; KURNITSKI, Jarek. Actual energy performance and indoor climate in Finnish NZEB daycare and school buildings. **Journal of building Engineering**, v. 56, p. 104759, 2022.

ALLAB, Yacine *et al.* Avaliação de energia e conforto em edifícios educacionais: estudo de caso em um campus universitário francês. **Energy and Buildings**, v. 143, p. 202-219, 2017.

AL RASHDI, Salim Ahmed *et al.* A case study on the electrical energy auditing and saving techniques in an educational institution (IMCO, Sohar, Oman). **Case Studies in Thermal Engineering**, v. 31, p. 101820, 2022.

ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers). **Standard 211. Standard for Commercial Building Audits**. Atlanta, 2018. Disponível em: https://www.ashrae.org/File%20Library/Technical%20Resources/Bookstore/previews_2016437_pre.pdf. Acesso em: 24 jan. 2025.

ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers). **Performance Measurement Protocols for Commercial Buildings**. [s.l.] Amer Society of Heating, 2010.

ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers). **Standard 55. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta, 2023. 63 v. Disponível em: https://www.ashrae.org/File%20Library/Technical%20Resources/Bookstore/previews_2016437_pre.pdf. Acesso em: 24 jan. 2025.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16401-2: Instalações de condicionamento de ar - Sistemas centrais e unitários - Parte 2: Parâmetros de conforto térmico**. Rio de Janeiro. ABNT, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6023: Informação e documentação — Referências — Elaboração**. Rio de Janeiro. ABNT, 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10520: Informação e documentação — Citações em documentos — Apresentação**. Rio de Janeiro. ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 50002**: Diagnósticos energéticos — Requisitos com orientação para uso. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013**: Iluminação de ambientes de trabalho — Parte 1: Interior. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

BAKER, Lindsay. What school buildings can teach us: post-occupancy evaluation surveys in K-12 learning environments. 2011.

BAVARESCO, Mateus V. *et al.* Methods used in social sciences that suit energy research: A literature review on qualitative methods to assess the human dimension of energy use in buildings. **Energy and Buildings**, v. 209, p. 109702, 2020. DOI: 10.1016/j.enbuild.2019.109702. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778819325599>. Acesso em: 16 out. 2025.

BIBLIOTECA UNIVERSITÁRIA; COMPETÊNCIA EM INFORMAÇÃO E SUPORTE À PESQUISA. *Template para Dissertação e Tese no formato A4 (.docx)*. Florianópolis: Repositório Institucional da Universidade Federal de Santa Catarina, 2025. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/197457>. Acesso em: 7 jan. 2026.

BOSSA - **Building Occupants Survey System Australia**. Disponível em: <http://www.bossasystem.com/>. Acesso em: 20 nov. 2024.

BRAGER, Gail; BAKER, Lindsay. Occupant satisfaction in mixed-mode buildings. **Building Research & Information**, v. 37, n. 4, p. 369-380, 2009. DOI 10.1080/09613210902899785. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/citedby/10.1080/09613210902899785?scroll=top&needAccess=true>. Acesso em: 15 nov. 2025.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética. **Resolução CGIEE Nº 4, de 26 de setembro de 2025**. Aprova o regulamento que define os índices mínimos de eficiência energética para as edificações residenciais, comerciais, de serviços e públicas. Diário Oficial da União: Seção 1, Brasília, DF, ano 163, n. 187, p. 225-226, 30 de set. 2025. Disponível em: <https://www.collinsdictionary.com/dictionary/spanish-english/completa>. Acesso em: 15 nov. 2025.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **INI-C – Instrução Normativa para o Indicador de Classificação de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Brasília: MME, Eletrobras/Procel, 2018.

BREEAM - **Building Research Establishment Environmental Assessment**

Method. Disponível em: <<https://breeam.com/about/how-breeam-works>>. Acesso em: 04 fev. 2025.

BUS Methodology. 2017. Disponível em:

<<https://busmethodology.org.uk/about.html>>. Acesso em: 20 nov. 2024.

BYRNE, Jennifer A. Improving the peer review of narrative literature reviews.

Research integrity and peer review, v. 1, n. 1, p. 12, 2016. DOI:

10.1186/s41073-016-0019-2. Disponível em:

<https://researchintegrityjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s41073-016-0019-2>. Acesso em: 16 out. 2025.

CARNEIRO, Fernando A.; LAFAY, Jean-Marc S.; BECK, Klünger Arthur É. Análise de Eficiência Energética Baseada no Consumo de Energia Elétrica em Escolas Públicas. **Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos-SBSE**, v. 1, n. 1, 2020.

Disponível em:

https://www.sba.org.br/open_journal_systems/index.php/sbse/article/view/2156/1880.

Acesso em: 16 out. 2025.

CASTRO, Luiza; DE VECCHI, Renata; LAMBERTS, Roberto. Processo de projeto para um sistema de pesquisa de ocupantes para avaliar a satisfação com a qualidade do ambiente interno. **Building Research & Information**, v. 53, n. 1-2, p. 242-260, 2025. DOI: 10.1080/09613218.2024.2374343. Disponível em:

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09613218.2024.2374343>. Acesso em: 16 out. 2025.

CANUTO, Livia Teixeira; DE OLIVEIRA, Adélia Augusta Souto. Métodos de revisão bibliográfica nos estudos científicos. **Psicologia em revista**, v. 26, n. 1, p. 83-102, 2020. Disponível em:

<https://periodicos.pucminas.br/index.php/psicologiaemrevista/article/view/22730>.

Acesso em: 16 out. 2025.

CBCS - CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL (Brasil).

Desempenho Energético Operacional. Disponível em:

<https://plataformadeo.cbcs.org.br/>. Acesso em: 15 out. 2024.

CBCS - CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL (Brasil).

Ficha Técnica Equações de Benchmarking. 2021. Disponível em:

<https://plataformadeo.cbcs.org.br/escola-de-ensino-fundamental-e-medio/>. Acesso em: 04 fev. 2025.

CBCS - CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL.

Resultados Levantamento de Consumo de Energia e Água dos Prédios

Municipais – Florianópolis, SC. . Em: PROJETO CIDADES EFICIENTES. , 2020.

Disponível em: https://cidadeeficientes.cbcs.org.br/?page_id=1302. Acesso em: 29 out. 2024

CBE Occupant Survey. Estados Unidos. Disponível em:

<https://cbe.berkeley.edu/resources/occupant-survey/>. Acesso em: 20 nov. 2024.

CELESC. **Educação +Eficiente - Escolas do Município de Florianópolis (EE-074/2020)**. 2022. Disponível em:

<https://site.celesc.com.br/peecelesc/index.php/noticias-site/11-projetos/255-2020-03-03-18-15-39>. Acesso em: 11 nov. 2024.

CHONG, Adrian; GU, Yaonan; JIA, Hongyuan. Calibrando modelos de simulação de energia em edifícios: uma revisão dos fundamentos para orientar trabalhos futuros. **Energy and Buildings**, v. 253, p. 111533, 2021. DOI:

10.1016/j.enbuild.2021.111533. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778821008173>. Acesso em: 07 jan. 2026

CLEMENTS-CROOME, D. J. *et al.* Ventilation rates in schools. **Building and Environment**, Indoor Air 2005: Modeling, Assessment, and Control of Indoor Air Quality. v. 43, n. 3, p. 362–367, 1 mar. 2008. DOI: 10.1016/j.buildenv.2006.03.018. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132306003568>. Acesso em: 07 jan. 2026.

COCHRAN HAMEEN, Erica; KEN-OPURUM, Bobuchi; SON, Young Joo. Protocol for post occupancy evaluation in schools to improve indoor environmental quality and energy efficiency. **Sustainability**, v. 12, n. 9, p. 3712, 2020. DOI:

10.3390/su12093712. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/9/3712> . Acesso em: 07 jan. 2026.

DA GRAÇA, Valéria Azzi Collet; KOWALTOWSKI, Doris Catharine Cornelie Knatz. Metodologia de avaliação de conforto ambiental de projetos escolares usando o conceito de otimização multicritério. **Ambiente Construído**, v. 4, n. 3, p. 19-35, 2004.

DALY, D. *et al.* Energy consumption in Australian primary schools: Influences and metrics. **Energy and Buildings**, v. 277, p. 112549, 15 dez. 2022. DOI:

10.1016/j.enbuild.2022.112549. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778822007204>. Acesso em: 07 jan. 2026.

DASCALAKI, Elena G.; SERMPETZOGLOU, Vasileios G. Energy performance and indoor environmental quality in Hellenic schools. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 2-3, p. 718-727, 2011. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.11.017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778810004147> . Acesso em: 07 jan. 2026.

De Dear, R. and G. Brager, 1998. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. *ASHRAE Transactions*, 104 (1): 145-167. Disponível em: <https://escholarship.org/uc/item/4qq2p9c6>. Acesso em: 07 jan. 2026

DE GIULI, Valeria; DA POS, Osvaldo; DE CARLI, Michele. Indoor environmental

quality and pupil perception in Italian primary schools. **Building and Environment**, v. 56, p. 335-345, 2012. DOI: 10.1016/j.buildenv.2012.03.024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132312001163>. Acesso em: 07 jan. 2026.

DEME BELAFI, Zsofia; HONG, Tianzhen; REITH, Andras. A critical review on questionnaire surveys in the field of energy-related occupant behaviour. **Energy Efficiency**, v. 11, n. 8, p. 2157-2177, 2018.. DOI: 10.1007/s12053-018-9711-z. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12053-018-9711-z>. Acesso em: 16 out. 2025.

DE SANTOLI, Livio et al. Energy performance assessment and a retrofit strategies in public school buildings in Rome. **Energy and Buildings**, v. 68, p. 196-202, 2014. DOI: 10.1016/j.enbuild.2013.08.028. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778813005252>. Acesso em: 07 jan. 2026

DGNB German Sustainable Building Council. Disponível em: <https://www.dgnb.de/en/certification/important-facts-about-dgnb-certification/certification-schemes>. Acesso em: 04 fev. 2025.

Directive (EU) 2024/1275 of the **European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on the energy performance of buildings**. 2024. Disponível em: <http://data.europa.eu/eli/dir/2024/1275/oj>. Acesso em: 31 jan. 2025.

D'OCA, Simona; HONG, Tianzhen; LANGEVIN, Jared. The human dimensions of energy use in buildings: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, p. 731-742, 2018. DOI: 10.1016/j.rser.2017.08.019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117311632>. Acesso em: 07 jan. 2026.

DUBOIS, D.; DUBOIS, E. F. A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. **Archives of Internal Medicine**, v. 17, p. 863-871, 1916.

EPE (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA). **Balanço Energético Nacional (BEN)**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-748/topico-687/BEN2024.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2025.

ENERGY STAR (Estados Unidos). **About Energy Star. 2024**. Disponível em: <https://www.energystar.gov/about>. Acesso em: 31 jan. 2025.

FERREIRA, João Gustavo. Calibração de um modelo de simulação computacional: estudo de caso de uma edificação de ensino superior. 2025. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – **Universidade Federal de Santa Catarina**, Florianópolis, 2025.

FRANCO, Alessandro; LECCESE, Francesco. Measurement of CO₂ concentration for occupancy estimation in educational buildings with energy efficiency purposes.

Journal of Building Engineering, v. 32, p. 101714, 2020. DOI:

10.1016/j.jobe.2020.101714. Disponível em:

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710219316912?casa_token=5qculUAMYpQAAAAA:8PVeGuUPgKAUMvi0Mhb76sYU77sQqc31gNoEui0YF9wJd6Cg7cN7R5KFuKmlOo5d57rJrfiaOPt3 . Acesso em: 07 jan. 2026.

G. B. C., B. **Programa Zero Energy do Paraná prevê economia de R\$ 6,4 milhões por ano. GBC Brasil**, 21 jan. 2021. Disponível em:

<<https://www.gbcbrazil.org.br/programa-zero-energy-do-parana-preve-economia-de-r-64-milhoes-por-ano/>>. Acesso em: 11 nov. 2024

GERALDI, Matheus Soares *et al.* Assessment of the energy consumption in non-residential building sector in Brazil. **Energy and buildings**, v. 273, p. 112371, 2022. DOI: 10.1016/j.enbuild.2022.112371. Disponível em:

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778822005424?casa_token=NYdYgXw8HhUAAAAA:o9A80eKCWn20AmSqzghlAw77x9yg2VVxwUxGdXy5JVOMR8ZOFrOCSetJrP0h_NflkSnGEBOOnPLZw . Acesso em: 07 jan. 2026.

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778822005424?casa_token=NYdYgXw8HhUAAAAA:o9A80eKCWn20AmSqzghlAw77x9yg2VVxwUxGdXy5JVOMR8ZOFrOCSetJrP0h_NflkSnGEBOOnPLZw . Acesso em: 07 jan. 2026.

GERALDI, Matheus Soares; GHISI, Enedir. Building-level and stock-level in contrast: A literature review of the energy performance of buildings during the operational stage. **Energy and Buildings**, v. 211, p. 109810, 2020a. DOI:

10.1016/j.enbuild.2020.109810. Disponível em:

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778819330646?casa_token=4mlw0EcfllMAAAAA:sDtd22zkbzDXfnx_3wzxaIGZsh6DUzkht6qEiW56MPFI2QF2oMwVvX-1D0vrxHqlaby2sEx3Umjn . Acesso em: 07 jan. 2026.

GERALDI, Matheus Soares; GHISI, Enedir. Mapping the energy usage in Brazilian public schools. **Energy and Buildings**, v. 224, p. 110209, 2020b. DOI:

10.1016/j.enbuild.2020.110209. Disponível em:

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778820302954?casa_token=O6C7PYhK82YAAAAA:JXpl7zKFtbD1ViFFsR9ZZXgtXsVt1tsjFoVsylCTUDr35dT-eUjwT6j1KZbfGxjSfaC7fkMNz2DP . Acesso em: 07 jan. 2026.

GERALDI, Matheus Soares. *et al.* Evaluating the impact of the shape of school reference buildings on bottom-up energy benchmarking. **Journal of Building Engineering** , v. 43, p. 103142, 2021. DOI: 10.1016/j.jobe.2021.103142. Disponível em:

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710221010007?casa_token=HE3j_0JxvsAAAAA:SLeyOF78jaInZlXWCRu13NEy-TbMq5chDEowUFZZzk1mv5yVQXlyO7ySZdnCGTcSlzpk15Ck4yy5 . Acesso em: 07 jan. 2026

GRAHAM, Lindsay T.; PARKINSON, Thomas; SCHIAVON, Stefano. Lições aprendidas com 20 anos de pesquisas de ocupantes do CBE. **Buildings & Cities** , v. 2, n. 1, 2021.

GHITA, Stefan Alexandru; CATALINA, Tiberiu. Energy efficiency versus indoor environmental quality in different Romanian countryside schools. **Energy and Buildings**, v. 92, p. 140-154, 2015. DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.01.049. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778815000675?casa_token=5iUE1zVs7PsAAAAA:mEsuwJ0gv88zJrwdER5sYPSew6QMYqD5JZbR-cCAvSI2EwpMmuXnLE809BQ_tcrdT_fEPLc-bCxF. Acesso em: 07 jan. 2026.

GNECCO, Verônica Martins. Desenvolvimento de um modelo de benchmarking local para as escolas públicas de ensino infantil de Florianópolis. 2021. Tese de Doutorado. Dissertação, **Universidade Federal de Santa Catarina**. Repositório Institucional. <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/229348>.

GOOGLE LLC. Google Maps. Disponível em: <https://www.google.com/maps>. Acesso em: 06 jan. 2026

GOOGLE LLC. Google Earth. Disponível em: <https://www.google.com/earth/>. Acesso em: 06 jan. 2026.

GÖÇER, Özgür; HUA, Ying; GÖÇER, Kenan. Completing the missing link in building design process: Enhancing post-occupancy evaluation method for effective feedback for building performance. **Building and Environment**, v. 89, p. 14-27, 2015. DOI: 10.1016/j.buildenv.2015.02.011. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132315000682?casa_token=muqfA6ctan4AAAAA:ahG9hOIFu6tk5aZau6kv4kb3lCAPtcdJ0JWEVebVQY-JqQkrjTPbWltoNlIbQ8VZaBasO_qRWSk4. Acesso em: 07 jan. 2026.

HARPUTLUGIL, Timuçin; DE WILDE, Pieter. The interaction between humans and buildings for energy efficiency: A critical review. **Energy Research & Social Science**, v. 71, p. 101828, 2021. DOI: 10.1016/j.erss.2020.101828. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629620304035?casa_token=ZvcWOdLwj-gAAAAA:wfif_2p9i4TrXlcO0J-XvDlKMYUICHjTIOcgEGybWVLhpmkzagijSJk8C0enx4_lafc3QaeEybKk. Acesso em: 07 jan. 2026.

HAVERINEN-SHAUGHNESSY, Ulla *et al.* An assessment of indoor environmental quality in schools and its association with health and performance. **Building and Environment**, v. 93, p. 35-40, 2015.

HENDRON, Robert. **Building America performance analysis procedures for existing homes**. National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States), 2006.

HONG, Sung-Min *et al.* Improved benchmarking comparability for energy consumption in schools. **Building Research & Information**, v. 42, n. 1, p. 47-61, 2014. DOI: 10.1080/09613218.2013.814746. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09613218.2013.814746>. Acesso em: 07

jan. 2026.

HONG, Tianzhen *et al.* An ontology to represent energy-related occupant behavior in buildings. Part I: Introduction to the DNAs framework. **Building and Environment**, v. 92, p. 764-777, 2015.

HONG, Tianzhen *et al.* Ten questions concerning occupant behavior in buildings: The big picture. **Building and Environment**, v. 114, p. 518-530, 2017. DOI: /10.1016/j.buildenv.2016.12.006. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132316304851?casa_token=pQNkRJS7me0AAAAA:38gTAqyhK71N5fkoAhoUyIFdA9kD95aL8vCpbmAFrhs0E2EhVzSiQfDE0T8cUqB5GW6xpDwrjL0S. Acesso em: 07 jan. 2026.

IEA (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY). **Annex 66 – Defining Advanced Occupant Behavior Models to Support Building Energy Research: Guidebook on monitoring, data collection and modeling for occupant behavior research**. [S.l.]: IEA EBC Annex 66, 2018. Disponível em: <https://www.annex66.org/sites/default/files/2018FinalReport/Annex%2066%20Final%20Report%20-%20read.pdf>. Acesso em: 16 out. 2025.

IEA (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY). **Annex 95 – Human-Centric Building Design and Operation for a Changing Climate: Subtasks**. [S.l.]: IEA EBC Annex 95, 2025. Disponível em: <https://annex95.iea-ebc.org/subtasks>. Acesso em: 16 out. 2025.

ISO – International Organization for Standardization. **ISO 7730: Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria**. Genebra: ISO, 2005.

KATAFYGIOTOU, Martha C.; SERGHIDES, Despina Kyprianou. Analysis of structural elements and energy consumption of school building stock in Cyprus: Energy simulations and upgrade scenarios of a typical school. **Energy and Buildings**, v. 72, p. 8-16, 2014.

KOIVUKANGAS, Sari Hannele. **Eficiência energética sob perspectivas técnicas nos usos finais aplicada ao caso de uma escola**. 2022. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106134/tde-19102022-131458/en.php>. Acesso em: 16 out. 2025.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando. **Eficiência energética na arquitetura**. 3ª edição. São Paulo: PW, 2014.

LI, Peixian; FROESE, Thomas M.; BRAGER, Gail. Post-occupancy evaluation: State-of-the-art analysis and state-of-the-practice review. **Building and environment**, v. 133, p. 187-202, 2018.

LOURENÇO, Patrícia; PINHEIRO, Manuel Duarte; HEITOR, Teresa. From indicators to strategies: Key Performance Strategies for sustainable energy use in Portuguese school buildings. **Energy and Buildings**, v. 85, p. 212-224, 2014..

LIMA, R. V. dos S.. **A influência de decisões arquitetônicas na eficiência energética do Campus** vol. 1/UFRN. 2007. 222 f. Dissertação (Mestrado em Conforto no Ambiente Construído; Forma Urbana e Habitação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

MARTINEZ-MOLINA, Antonio *et al.* Post-occupancy evaluation of a historic primary school in Spain: Comparing PMV, TSV and PD for teachers' and pupils' thermal comfort. **Building and Environment**, v. 117, p. 248-259, 2017. DOI: 10.1016/j.buildenv.2017.03.010. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132317300963?casa_token=3Xqw6-4LhKYAAAAA:6WIT19m9Qf8ezBTbr0heeVypkjT9gT3E3ilb1xCqxoyk0oDW07LJpzuU0yWpxRLtn-V72R_tK2X. Acesso em: 07 jan. 2026.

MARSH, Andrew J. 2D **Sun-Path**. Disponível em: <http://andrewmarsh.com/apps/releases/sunpath2d.html>. Acesso em: 29 dez. 2025.

MERABTINE, Abdelatif *et al.* Building energy audit, thermal comfort, and IAQ assessment of a school building: A case study. **Building and Environment**, v. 145, p. 62-76, 2018. DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.09.015. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132318305638?casa_token=DPFCZ9x0dZ4AAAAA:YkbBvc8ZDqSjm9dEQBVP1PGO2TQ8B4U3MSFIJ2CXfApFjt2ENdUaD1UckKYqzkFYdc500QZ2VnSp. Acesso em: 07 jan. 2026.

MICHAEL-AHILE, T.; SAMUELS, Jason A.; BOOYSEN, MJ. Avaliação comparativa de energia específica por nível para escolas com diferentes níveis de desempenho na África do Sul em desenvolvimento. **Energia para o Desenvolvimento Sustentável**, v. 82, p. 101541, 2024.

MCTIC - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES ; SECRETARIA DE POLÍTICAS E PROGRAMAS DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO (SEPED); COORDENAÇÃO GERAL DO CLIMA (CGCL). **Acordo de Paris**. Brasil. 2021.

TER MORS, Sander *et al.* Conforto térmico adaptativo em salas de aula do ensino fundamental: Criação e validação de gráficos de conforto baseados em PMV. **Building and Environment**, v. 46, n. 12, p. 2454-2461, 2011.

MYDLARZ, Charlie A. *et al.* Comparison of environmental and acoustic factors in occupied school classrooms for 11–16 year old students. **Building and Environment**, v. 60, p. 265-271, 2013.

NABERS - NATIONAL AUSTRALIAN BUILT ENVIRONMENT RATING SYSTEM

(Austrália). **Spaces we rate**. 2024. Disponível em: <<https://www.nabers.gov.au/ratings/spaces-we-rate>>. Acesso em: 31 jan. 2025.

NORAZMAN, Norsafiah *et al.* Indoor environmental quality towards classrooms' comforts level: Case study at Malaysian secondary school building. **Applied Sciences**, v. 11, n. 13, p. 5866, 2021.

ONSETCOMP. *MX1102A – Data Logger de CO2, Umidade e Temperatura*. Disponível em: <<https://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/mx1102a>>. Acesso em: 06 jan. 2026.

ORNSTEIN, Sheila Walbe. **Com os usuários em mente: um desafio para a boa prática arquitetônica?** *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, Campinas, v. 7, n. 3, p. 189–197, out. 2016. DOI: 10.20396/parc.v7i3.8647437. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8647437/15228>. Acesso em: 16 out. 2025.

PEREIRA, Luísa Dias *et al.* Energy consumption in schools—A review paper. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 40, p. 911-922, 2014. DOI: 10.1016/j.rser.2014.08.010. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114006868?casa_token=dhfk8l2FVBsAAAAA:9o1rLd4amL6lhziZrOJY72PfXLHVaYRmqvlze0UM6sil53vtvKg0SwGpN5DwQzArVDrXhqA4nNQh. Acesso em: 07 jan. 2026.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FLORIANÓPOLIS. *Geoportal da Prefeitura Municipal de Florianópolis*. Disponível em: <https://geoportal.pmf.sc.gov.br/map>. Acesso em: 06 jan. 2026..

PROCEL - PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM (PBE). **ANEXO I – INSTRUÇÃO NORMATIVA INMETRO PARA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DAS EDIFICAÇÕES COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICAS**. BRASIL. 2022. Disponível em: <https://pbeedifica.com.br/inic>. Acesso em: 31 jan. 2025.

PROCEL - PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Pesquisa de Posses e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Comercial e de Serviços - Ramo de Atividade Educação**. Belo Horizonte. 2024.

QEdu. EBM Maria Conceição Nunes. Disponível em: <https://qedu.org.br/escola/42143519-ebm-maria-conceicao-nunes/>. Acesso em: 16 nov. 2025.

RINALDI, Alessandro; SCHWEIKER, Marcel; IANNONE, Francesco. On uses of energy in buildings: Extracting influencing factors of occupant behaviour by means of a questionnaire survey. **Energy and Buildings**, v. 168, p. 298-308, 2018. DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.03.045.

SADRIZADEH, S. *et al.* **Indoor air quality and health in schools**: A critical review

for developing the roadmap for the future school environment. **Journal of Building Engineering**, v. 57, p. 104908, 1 out. 2022.

Schlichting, I., Hansen Gapski Pereira, N., Geraldi, M., Bavaresco, M. V., Melo, A. P., Lamberts, R., Casanova Nunes, E., & ALIARDI, A. (2025). Biblioteca de Componentes Construtivos Brasileiros usuais. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15192133>

TP-LINK TECHNOLOGIES CO., LTD. Imagem de produto disponível em: https://static.tp-link.com/upload/image-line/01_large_20231020035211y.jpg. Acesso em: 06 jan. 2026.

TRIANA, Maria Andrea et al. Metodologias para identificar oportunidades de eficiência energética em escolas públicas municipais: Resultados do Programa Cidades Eficientes em 4 capitais brasileiras. **ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, v. 18, 2025. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/7323/5805>. Acesso em: 16 out. 2025.

SILVA, Saulo Vieira de Oliveira; PAGEL, Érica Coelho; BASTOS, Leopoldo Eurico Gonçalves; MARCONSINI, Cynthia. Ventilação natural e qualidade do ar em salas de aula: revisão sistemática da literatura. **PARC: Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 13, n. 00, p. e022021, 2022. DOI: [10.20396/parc.v13i00.8666284](https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8666284). Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8666284>. Acesso em: 6 jan. 2026.

SILVEIRA, Rafael Brito; ALVES, Maikon Passos Amiltos; MURARA, Pedro. Estudo de caracterização da direção predominante dos ventos no litoral de Santa Catarina. X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA. Anais... Curitiba, p. 380-392, 2014.

SOARES, Mariáh Pereira Soares Pessanha et al. Uma revisão bibliográfica de medidas de eficiência energética em edifícios. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamago**, v. 15, n. 2, p. 32-47, 2021. DOI: [10.19180/2177-4560.v15n22021p32-47](https://editoraessentia.iff.edu.br/index.php/boletim/article/view/16331/14561). Disponível em: <https://editoraessentia.iff.edu.br/index.php/boletim/article/view/16331/14561>. Acesso em: 13 nov. 2025.

SILVA, Larissa; CALDAS, Lucas; HORA, Karla. AVALIAÇÃO PÓS-OCUPAÇÃO (APO) INTEGRADA AO PROJETO DE RETROFIT SUSTENTÁVEL: ESTUDO DE CASO PARA UM EDIFÍCIO PÚBLICO EM GOIÂNIA-GO. **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, v. 1, pág. 2352-2365, 2018.

STAZI, Francesca; NASPI, Federica; D'ORAZIO, Marco. A literature review on driving factors and contextual events influencing occupants' behaviours in buildings. **Building and Environment**, v. 118, p. 40-66, 2017. DOI: [10.1016/j.bse.2017.01.139](https://doi.org/10.1016/j.bse.2017.01.139).

SYNDICUS, M. *et al.* **Two-wave intervention study to measure and improve ventilation in classrooms**. In: Proceedings of the 18th Healthy Buildings Europe Conference, ISIAQ, Aachen, Germany. 2023.

TELI, Despoina; JENTSCH, Mark F.; JAMES, Patrick AB. Naturally ventilated classrooms: An assessment of existing comfort models for predicting the thermal sensation and preference of primary school children. **Energy and buildings**, v. 53, p. 166-182, 2012.

TRAN, Minh Tien et al. Review of parameters measured to characterize classrooms' indoor environmental quality. **Buildings**, v. 13, n. 2, p. 433, 2023. DOI: [10.3390/buildings13020433](https://doi.org/10.3390/buildings13020433). Disponível em: https://www.mdpi.com/2075-5309/13/2/433?utm_campaign=releaseissue_buildingsutm_medium=emailutm_source=releaseissueutm_term=titlelink154. Acesso em: 07 jan. 2026.

USGBC. **Leadership in Energy and Environmental Design: Guide to LEED Certification**. Disponível em: <<https://www.usgbc.org/guide-LEED-certification>>. Acesso em: 04 fev. 2025.

USGBC. . Disponível em:

<https://www.usgbc.org/credits/existing-buildings-schoolsexisting-buildings-retail-existing-buildings-hospitality-exist-25?view=language>. Acesso em: 31 jan. 2025.

VAN DEN WYMELENBERG, Kevin. Patterns of occupant interaction with window blinds: A literature review. **Energy and buildings**, v. 51, p. 165-176, 2012.

VERAS, Aluizio Antonio. **Eficiência energética nas escolas públicas do estado do Acre** : estudo de caso da Escola Glória Peres. 2010. 99 f. Dissertação (Mestrado em Regulação da Indústria de Energia) – Universidade Salvador (UNIFACS), Salvador, 2010. Disponível em: <https://tede.unifacs.br/bitstream/tede/370/1/DISSERTACAO%20ALUIZIO%20ANTONIO%20VERAS.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2025.

VIEIRA, Amanda Cleomacles de Mesquita. **Eficiência energética em escolas – Estudo de caso Escola Estadual Padre Antônio de São Paulo**. 2019. 109 f. Dissertação (Mestrado em Administração – Gestão Ambiental e Sustentabilidade) – Programa de Pós-Graduação em Administração, Universidade Nove de Julho (UNINOVE), São Paulo, 2019. Disponível em: <https://bibliotecatede.uninove.br/bitstream/tede/2074/2/Amanda%20Cleomacles%20de%20Mesquita%20Vieira.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2025.

VILLA, Simone Barbosa; BURIGO, Rafaella; SARAMAGO, Rita de Cássia Pereira. Uma Breve revisão da literatura integrada sobre avaliação pós-ocupação e qualidade ambiental. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DE PROJETO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, v. 8, n. 1, 2023. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sbqp/article/view/3984/3958>. Acesso em: 16 out. 2025.

WAHRLICH, Júlia; DA SILVA, Flávia Arcari; CAMPOS, Claudia Guimarães Camargo; RODRIGUES, Maria Laura Guimarães; MEDEIROS, Jéssica. *Characterization of the predominant wind speed and direction in Santa Catarina, Brazil*. Revista Brasileira de Climatologia, v. 23, 2018. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/14100/7339>. Acesso em: 16 nov. 2025.

WANG, Jen Chun. Energy consumption in elementary and high schools in Taiwan. **Journal of Cleaner Production**, v. 227, p. 1107-1116, 2019.

WEI, Wenjuan et al. Review of parameters used to assess the quality of the indoor environment in Green Building certification schemes for offices and hotels. **Energy and buildings**, v. 209, p. 109683, 2020.

WELL. WELL v2 Standard. 2024. Disponível em: <https://v2.wellcertified.com/en/wellv2/overview>. Acesso em: 31 jan. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Growth reference data for 5-19 years:** height-for-age, weight-for-age and BMI-for-age. Geneva: WHO, 2007. Disponível em: <https://www.who.int/tools/growth-reference-data-for-5to19-years>. Acesso em: 20 maio 2024.

WRIGHT, T. P. **SHE Post-Occupancy Evaluation survey**. Disponível em: <https://msd.unimelb.edu.au/she/research/she-post-occupancy-evaluation-survey>. Acesso em: 20 nov. 2024.

XU, Xiaoxiao; YU, Hao; SUN, Qiuwen; TAM, Vivian W.Y. A critical review of occupant energy consumption behavior in buildings: How we got here, where we are, and where we are headed. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 182, 2023. DOI: 10.1016/j.rser.2023.113954

YOSHINO, Hiroshi; HONG, Tianzhen; NORD, Natasa. IEA EBC annex 53: Total energy use in buildings—Analysis and evaluation methods. **Energy and Buildings**, v. 152, p. 124-136, 2017. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.09.029. Disponível em: <http://www.annex66.org/>. Acesso em: 10 Jun. 2022.

YAN, Da et al. IEA EBC Annex 66: Definition and simulation of occupant behavior in buildings. **Energy and Buildings**, v. 156, p. 258-270, 2017.

YU, Cong; PAN, Wei; LIANG, Yumin. Parametric analysis of the effect of window blind control on energy consumption of high-rise office buildings in high-density cities. In: **ASim Conference 2024**. IBPSA-Asia, 2024. p. 167-174.

APÊNDICE A - LEVANTAMENTO DA POTÊNCIA NOMINAL DE ILUMINAÇÃO E EQUIPAMENTOS DA UNIDADE ESCOLAR

Ambiente	Tipo de ambiente	Sistema	Aparelho/Modelo	Quantidade	Potência (W)	Potência total (W)	Potência (kWh)
Secretaria	Administrativo	Iluminação	Lâmpada	2	12	24	0.012
	Administrativo	Iluminação	Plafon	1	24	24	0.024
	Administrativo	Climatização	Ar-condicionado Gree 9000btu	1		0	0.59
	Administrativo	Carga de tomada	LG 22V24 computador all-in-one	1	19	19	0.019
	Administrativo	Carga de tomada	Impressora HP SMART TANK 580	1	3.023	3.023	0.003023
	Administrativo	Carga de tomada	Telefone intelbras V5501	1	3	3	0.003
Apoio Pedagógico/ Orientação	Administrativo	Iluminação	Lâmpada	4	17	68	0.017
	Administrativo	Climatização	Ar-condicionado 18000btu	1		0	1.52
	Administrativo	Climatização	Ventilador de parede - VOP 50CM STEEL-127V/220V / 3.10KWH.MÊS	1		0	0.1033333333
	Administrativo	Carga de tomada	CPU DELL - OPTEPLEX 3070	3	40	120	0.04
	Administrativo	Carga de tomada	Tela Dell P2319Hc	3	16	48	0.016
	Administrativo	Carga de tomada	Impressora Epson l350	2	3.5	7	0.0035
	Administrativo	Carga de tomada	Telefone intelbras V5501	2	3	6	0.003
	Administrativo	Carga de tomada	Cafeteira Cadence - Urban Pop	1	750	750	0.75
Bwc	APT (Bwc/depósito)	Iluminação	Lâmpada	1	17	17	0.017
	APT (Bwc/depósito)	Aquecimento de água	Chuveiro Lorenzetti belo banho ultra	1	5500	5500	5.5
Bwc	APT (Bwc/depósito)	Iluminação	Lâmpada	1	17	17	0.017

Ambiente	Tipo de ambiente	Sistema	Aparelho/Modelo	Quantidade	Potência (W)	Potência total (W)	Potência (kWh)
	APT (Bwc/depósito)	Aquecimento de água	Chuveiro Lorenzetti belo banho ultra	1	5500	5500	5.5
Direção	Administrativo	Iluminação	Lâmpada	1	18	18	0.018
	Administrativo	Climatização	Ar-condicionado TCL 24000btu	1		0	1.52
	Administrativo	Carga de tomada	CPU DELL - OPTEPLEX 3070	1	40	40	0.04
	Administrativo	Carga de tomada	Tela Dell P2319Hc	1	16	16	0.016
	Administrativo	Carga de tomada	Impressora HP SMART TANK 580	1	3.023	3.023	0.003023
	Administrativo	Climatização	Ventilador - Ventil Delta - 50 premium 127v - 5kwh.mes	1		0	0.167666667
	Administrativo	Climatização	Ventilador - Ventisol Indi. VON TURBO ECONOMY 40CM-02/220V- 1,83 KWH.MÊS	1		0	0.061
	Administrativo	Carga de tomada	Telefone intelbras V5501	1	3	3	0.003
	Administrativo	Carga de tomada	Som EDIFIER - Modelo EDF100024	1	42	42	0.042
	Administrativo	Carga de tomada	Tela Câmeras	1	30	30	0.03
	Administrativo	Carga de tomada	Servidor Câmeras	1	10	10	0.01
Sala dos professores	Sala dos professores	Iluminação	Lâmpada	3	17	51	0.017
	Sala dos professores	Iluminação	Lâmpada	1	18	18	0.018
	Sala dos professores	Climatização	Ar-condicionado GREE 24000 btu	1		0	1.52
	Sala dos professores	Outros	Microondas Panasonic - NN - ST65LW	1	900	900	
	Sala dos professores	Outros	Microondas electrolux - MTD 30	2	1050	2100	

Ambiente	Tipo de ambiente	Sistema	Aparelho/Modelo	Quantidade	Potência (W)	Potência total (W)	Potência (kWh)
	Sala dos professores	Geladeiras e freezers	Refrigerador Consul	1	90	90	
	Sala dos professores	Geladeiras e freezers	Geladeira Consul CRD	1	114	114	0.075
	Sala dos professores	Outros	Bebedouro	1	100	100	0.004
	Sala dos professores	Carga de tomada	Notebook - LATITUDE3400	2	30	60	0.03
Multimeios	Multimeios	Iluminação	Lâmpada	2	8.5	17	0.0085
	Multimeios	Iluminação	Lâmpada	1	18	18	0.018
	Multimeios	Climatização	Ar-condicionado TCL 24000btu	1		0	1.52
	Multimeios	Climatização	Ventilador de teto	1		0	0
	Multimeios	Carga de tomada	Retroprojeto Benq DLP - SVGA	1	240	240	0.24
	Multimeios	Outros	Central de Internet	1		0	0
	Multimeios	Outros	RETROPROJETOR EPSON POWELIGHT X39	1	326	326	0.326
	Multimeios	Climatização	Ventilador de parede - VENTISUL VOP 60MX	1		0	0.1633333333
Depósito	APT (Bwc/depósito)	Iluminação	Lâmpada	1	8.5	8.5	0.0085
Auditório	Auditório	Iluminação	Lâmpada	10	17	170	0.017
	Auditório	Iluminação	Lâmpada	3	18	54	0.018
	Auditório	Climatização	Ar-condicionado Carrier	1		0	1.52
	Auditório	Carga de tomada	Caixas de som	3	42	126	0.042
	Auditório	Carga de tomada	Mesa de som - WATTISON AMBW8 PROFESSIONAL AUDIO/STORM 1800	1	30	30	0.03
	Auditório	Carga de tomada	Retroprojeto	1	326	326	0.326

Ambiente	Tipo de ambiente	Sistema	Aparelho/Modelo	Quantidade	Potência (W)	Potência total (W)	Potência (kWh)
Sala de robótica	Laboratório	Carga de tomada	PROJETOR EPSON 3LCD	1	354	354	0.354
	Laboratório	Outros	Impressora 3D - CREALITY ENDER-5S1	1	115	115	0.115
	Laboratório	Outros	switch gerenciável - SG240DMRL2+	2	30	60	0.03
	Laboratório	Outros	TES GUARDIAN	1		0	0
Biblioteca 1	Biblioteca	Iluminação	Lâmpada	8	17	136	0.017
	Biblioteca	Climatização	Ar-condicionado Gree 18000 btu	1		0	1.14
	Biblioteca	Climatização	Ar-condicionado Gree 12000 btu	1		0	0.76
	Biblioteca	Carga de tomada	Tela	1	16	16	0.016
	Biblioteca	Carga de tomada	Computador	1	35	35	0.035
	Biblioteca	Carga de tomada	Estabilizador	1	5	5	0.005
	Biblioteca	Carga de tomada	Impressora	1	3.023	3.023	0.003023
Biblioteca 2	Biblioteca	Iluminação	Lâmpada	8	17	136	0.017
	Biblioteca	Climatização	Ar-condicionado Elgin 12000 btu	1		0	0.81
Sala de estudos - biblioteca	Sala de aula	Iluminação	Lâmpada	2	17	34	0.017
	Sala de aula	Climatização	Ventilador de parede - VENTISUL VOP 60MX	1		0	0.1033333333
Multimeios	Multimeios	Iluminação	Lâmpada	2	12	24	0.012
	Multimeios	Climatização	Ar-condicionado TCL 24000btu	1		0	1.52
	Multimeios	Carga de tomada	Tela - duex modelo dxm190c	1	15	15	0.015
	Multimeios	Carga de tomada	CPU	1	35	35	0.035
	Multimeios	Carga de tomada	Impressora - epson l3250	1	4.5	4.5	0.0045
	Multimeios	Climatização	Ventilador de parede - VOP 50CM STEEL-127V/220V / 3.10KWH.MÊS	1		0	0.1033333333

Ambiente	Tipo de ambiente	Sistema	Aparelho/Modelo	Quantidade	Potência (W)	Potência total (W)	Potência (kWh)
	Multimeios	Carga de tomada	Estabilizador - /enermaxi solamax t500 autom. PN 500w	1	500	500	0.5
Laboratório de Informática	Laboratório	Iluminação	Lâmpada	6	17	102	0.017
	Laboratório	Climatização	Ar-condicionado Agrassato 30000btu	1		0	2.046666667
	Laboratório	Carga de tomada	LG 22V24 computador all-in-one	23	19	437	0.019
	Laboratório	Carga de tomada	Projeto - Epson Power Light x39	1	326	326	0.326
	Laboratório	Carga de tomada	Impressora - epson l3250	1	4.5	4.5	0.0045
	Laboratório	Outros	Central de Internet			0	0
	Laboratório	Carga de tomada	Caixa de som	1	42	42	0.042
	Laboratório	Carga de tomada	Caixa de som	1	42	42	0.042
Bwc	APT (Bwc/depósito)	Iluminação	Lâmpada	4	18	72	0.018
	APT (Bwc/depósito)	Iluminação	Lâmpada	3	3	9	0.003
Bwc	APT (Bwc/depósito)	Iluminação	Lâmpada	4	18	72	0.018
	APT (Bwc/depósito)	Iluminação	Lâmpada	3	3	9	0.003
Laboratório de Ciências	Laboratório	Iluminação	Lâmpada	6	17	102	0.017
	Laboratório	Climatização	Ar-condicionado TCL 24000btu	1		0	1.52
	Laboratório	Geladeiras e freezers	Refrigerador - Electrolux RFE 38	1		0	0.0777777777777778
	Laboratório	Climatização	Ventilador de teto	3		0	0
Corredores	APT (Bwc/depósito)	Iluminação	Lâmpada	6	18	108	0.018
	APT (Bwc/depósito)	Iluminação	Lâmpada	10	17	170	0.017

Ambiente	Tipo de ambiente	Sistema	Aparelho/Modelo	Quantidade	Potência (W)	Potência total (W)	Potência (kWh)
Guarita	APT (Bwc/depósito)	Iluminação	Lâmpada	8	8.5	68	0.0085
	APT (Bwc/depósito)	Carga de tomada	Bebedouro	1	100	100	0.003541666667
	Administrativo	Iluminação	Lâmpada	2	17	34	0.017
	Administrativo	Climatização	Ar-condicionado Gree 30000btu			0	1.52
Sala 01	Sala de aula	Iluminação	Lâmpada tubular LED T8	5	18	90	0.018
	Sala de aula	Climatização	Ar-condicionado ECOBLUE 30000btu	1		0	1.946666667
	Sala de aula	Carga de tomada	Retroprojeto Intelbras		326	0	0.326
	Sala de aula	Carga de tomada	Impressora Hp ink Advantage 2546	1	10	10	0.01
Sala 02	Sala de aula	Iluminação	Lâmpada tubular LED T8	6	18	108	0.018
	Sala de aula	Climatização	Ar-condicionado ECOBLUE 30000btu	1		0	1.946666667
Sala 03	Sala de aula	Iluminação	Lâmpada tubular LED T8	6	18	108	0.018
	Sala de aula	Climatização	Ar-condicionado ECOBLUE 30000btu	1		0	1.946666667
Cozinha - Cocção	Cozinha	Iluminação	Lâmpada	8	18	144	0.018
	Cozinha	Outros	Coifa	1	0	0	0
	Cozinha	Geladeiras e freezers	Geladeira Consul - crm39 - 49.1kwh/mês	1	100	100	
	Cozinha	Geladeiras e freezers	Geladeira Consul - Crm43 - 55.8kwh/mês	1	100	100	
	Cozinha	Carga de tomada	Liquidificador	1	360	360	0.36
Cozinha - Refrigeração	Cozinha	Geladeiras e freezers	Freezer	3	110	330	
	Cozinha	Geladeiras e freezers	Freezer	1	140	140	

Ambiente	Tipo de ambiente	Sistema	Aparelho/Modelo	Quantidade	Potência (W)	Potência total (W)	Potência (kWh)
	Cozinha	Geladeiras e freezers	Freezer industrial	2	396	792	0.396
Cozinha - Não perecíveis	Cozinha	Iluminação	Lâmpada	2	12	24	0.012
	Cozinha	Iluminação	Lâmpada	4	18	72	0.018
Cozinha - Recebimento	Cozinha	Aquecimento de água	Torneira Elétrica - Hydra	1	5500	5500	5.5
	Cozinha	Carga de tomada	Processador Elétrico - skymsen - PA-7LE-N	1	373	373	0.25
	Cozinha	Carga de tomada	Suqueiro - Spolu	1	180	180	0.18
	Cozinha	Iluminação	Lâmpada	1	20	20	1.25
	Cozinha	Iluminação	Lâmpada	3	17	51	0.017
	Cozinha	Outros	Lavadora de roupa - Mueller energy 8 kg - 0.24kwh/ciclo	1	240	240	0.24
	Cozinha	Outros	Lavadora de roupa - Midea modelo md100a112/ww-02 PN=1080W	1	1080	1080	1.08
	Cozinha	Outros	Secadora de roupa - Mueller energy 8 kg - 0.24kwh/ciclo	1	240	240	0.24
Rouparia	APT (Bwc/depósito)	Iluminação	Lâmpada	1	17	17	0.017
Bwc	APT (Bwc/depósito)	Iluminação	Lâmpada	1	17	17	1.24
	Área comum	Iluminação	Lâmpada	47	17	799	0.017
	Área comum	Iluminação	Lâmpada	2	8.5	17	0.0085
	Área comum	Carga de tomada	Bebedouro - acqua gelata modelo pre200 - 10.47kwh/mês	1	100	100	
	Área comum	Carga de tomada	Buffet venâncio 6	1	200	200	2

Ambiente	Tipo de ambiente	Sistema	Aparelho/Modelo	Quantidade	Potência (W)	Potência total (W)	Potência (kWh)
Bwc	APT (Bwc/depósito)	Iluminação	Lâmpada	3	17	51	0.017
Bwc	APT (Bwc/depósito)	Iluminação	Lâmpada	3	17	51	0.017
Sala 04 - Superior	Sala de aula	Iluminação	Lâmpada	6	17	102	0.017
	Sala de aula	Climatização	Ar-condicionado ELGIN 30000 btu	1		0	1.9
	Sala de aula	Carga de tomada	Projeto Epson powerlight x39	1	326	326	0.326
	Sala de aula	Climatização	Ventilador de parede - VOP 50CM STEEL-127V/220V / 3.10KWH.MÊS	1		0	0.1033333333
Sala 05	Sala de aula	Iluminação	Lâmpada	3	17	51	0.017
	Sala de aula	Iluminação	Lâmpada	2	8.5	17	0.0085
	Sala de aula	Iluminação	Lâmpada	1	12	12	0.012
	Sala de aula	Climatização	Ar-condicionado ELGIN 30000 btu	1		0	1.9
	Sala de aula	Carga de tomada	Projeto Epson powerlight x39	1	326	326	0.326
	Sala de aula	Climatização	Ventilador de parede - VOP 50CM STEEL-127V/220V / 3.10KWH.MÊS	2		0	0.1033333333
Sala 06	Sala de aula	Iluminação	Lâmpada	2	17	34	0.017
	Sala de aula	Iluminação	Lâmpada	3	8.5	25.5	0.0085
	Sala de aula	Iluminação	Lâmpada	1	12	12	0.012
	Sala de aula	Climatização	Ar-condicionado ELGIN 30000 btu	1		0	1.9
	Sala de aula	Carga de tomada	Projeto Epson powerlight x39	1	326	326	0.326
	Sala de aula	Climatização	Ventilador de parede - VOP 50CM STEEL-127V/220V / 3.10KWH.MÊS	2		0	0.1033333333

Ambiente	Tipo de ambiente	Sistema	Aparelho/Modelo	Quantidade	Potência (W)	Potência total (W)	Potência (kWh)
Almoxarifado	APT (Bwc/depósito)	Iluminação	Fluorescente tubular	1	36	36	0.036
	APT (Bwc/depósito)	Iluminação	Lâmpada	2	17	34	0.017
	APT (Bwc/depósito)	Climatização	Ar-condicionado TCL 24000btu	1		0	1.52
	APT (Bwc/depósito)	Carga de tomada	Notebook - LATITUDE3400	2	30	60	0.03
	APT (Bwc/depósito)	Carga de tomada	Impressora- Kyocera ecosys ma5500ifx	1	56.4	56.4	0.0564
	APT (Bwc/depósito)	Carga de tomada	Estufa folha - menno	1	14	14	0.014
Sala 07	Sala de aula	Iluminação	Lâmpada	6	17	102	0.017
	Sala de aula	Climatização	Ar-condicionado ELGIN 30000 btu	1		0	1.9
	Sala de aula	Carga de tomada	Projeto Epson powerlight x39	1	326	326	0.326
	Sala de aula	Climatização	Ventilador de parede - VOP 50CM STEEL-127V/220V / 3.10KWH.MÊS	2		0	0.1033333333
Sala 08	Sala de aula	Iluminação	Lâmpada	5	17	85	0.017
	Sala de aula	Iluminação	Lâmpada	1	8.5	8.5	0.0085
	Sala de aula	Climatização	Ar-condicionado ELGIN 30000 btu	1		0	1.9
	Sala de aula	Carga de tomada	Projeto Epson powerlight x39	1	326	326	0.326
	Sala de aula	Climatização	Ventilador de parede - VOP 50CM STEEL-127V/220V / 3.10KWH.MÊS	2		0	0.1033333333
Sala 09	Sala de aula	Iluminação	Lâmpada	3	12	36	0.012
	Sala de aula	Iluminação	Lâmpada	3	8.5	25.5	0.0085

Ambiente	Tipo de ambiente	Sistema	Aparelho/Modelo	Quantidade	Potência (W)	Potência total (W)	Potência (kWh)
	Sala de aula	Climatização	Ar-condicionado ELGIN 30000 btu	1		0	1.9
	Sala de aula	Carga de tomada	Projeto Epson powerlight x39	1	326	326	0.326
	Sala de aula	Climatização	Ventilador de parede - VOP 50CM STEEL-127V/220V / 3.10KWH.MÊS	2		0	0.1033333333
Sala de Apoio	Administrativo	Iluminação	Lâmpada	1	17	17	0.017
Apoio pedagógico	Administrativo	Iluminação	Lâmpada	6	17	102	0.017
	Administrativo	Climatização	Ar-condicionado TCL 24000btu	1		0	1.52
Apoio Projetos	Administrativo	Iluminação	Lâmpada	2	17	34	0.017
Sala 10	Sala de aula	Iluminação	Lâmpada	5	17	85	0.017
	Sala de aula	Iluminação	Lâmpada	1	8.5	8.5	0.0085
	Sala de aula	Climatização	Ar-condicionado ELGIN 30000 btu	1		0	1.9
	Sala de aula	Carga de tomada	Projeto Epson powerlight x39	1	326	326	0.326
	Sala de aula	Climatização	Ventilador ventisol 4,29 kWh/mês	2		0	0.143
Sala 11	Sala de aula	Iluminação	Lâmpada	4	17	68	0.017
	Sala de aula	Iluminação	Lâmpada	2	8.5	17	0.0085
	Sala de aula	Climatização	Ar-condicionado ELGIN 30000 btu	1		0	1.9
	Sala de aula	Carga de tomada	Projeto Epson powerlight x39	1	326	326	0.326
	Sala de aula	Climatização	Ventilador ventisol 4,29 kWh/mês	1		0	0.143
	Sala de aula	Climatização	Ventilador de parede - VOP 50CM STEEL-127V/220V / 3.10KWH.MÊS	1		0	0.1033333333
Sala 12	Sala de aula	Iluminação	Lâmpada	4	17	68	0.017

Ambiente	Tipo de ambiente	Sistema	Aparelho/Modelo	Quantidade	Potência (W)	Potência total (W)	Potência (kWh)
	Sala de aula	Iluminação	Lâmpada	2	8.5	17	0.0085
	Sala de aula	Climatização	Ar-condicionado ELGIN 30000 btu	1		0	1.9
	Sala de aula	Carga de tomada	Projeto Epson powerlight x39	1	326	326	0.326
	Sala de aula	Climatização	Ventilador de parede - VOP 50CM STEEL-127V/220V / 3.10KWH.MÊS	2		0	0.1033333333
Sala Apoio Eja	Administrativo	Iluminação	Lâmpada	2	17	34	
Bwc	APT (Bwc/depósito)	Iluminação	Lâmpada	1	17	17	0.017
	APT (Bwc/depósito)	Iluminação	Lâmpada	1	36	36	0.036
	APT (Bwc/depósito)	Iluminação	Lâmpada	1	8.5	8.5	0.0085
	APT (Bwc/depósito)	Iluminação	Lâmpada	1	17	17	0.017
	APT (Bwc/depósito)	Iluminação	Lâmpada	1	17	17	0.017
Sala de artes	Laboratório	Iluminação	Lâmpada	6	17	102	0.017
	Laboratório	Climatização	Ar-condicionado TCL 24000btu	1		0	1.52
	Laboratório	Climatização	Ventilador de parede - VOP 50CM STEEL-127V/220V / 3.10KWH.MÊS	2		0	0.1033333333
Sala 13	Sala de aula	Iluminação	Luminária	9	40	360	0.04
	Sala de aula	Climatização	Ar-condicionado ELGIN 30000 btu	1		0	1.9
	Sala de aula	Carga de tomada	Projeto Epson powerlight x39	1	326	326	0.326
	Sala de aula	Climatização	Ventilador de parede - VOP 50CM STEEL-127V/220V / 3.10KWH.MÊS	2		0	0.1033333333
Sala 14	Sala de aula	Iluminação	Luminária	9	40	360	0.04

Ambiente	Tipo de ambiente	Sistema	Aparelho/Modelo	Quantidade	Potência (W)	Potência total (W)	Potência (kWh)
	Sala de aula	Climatização	Ar-condicionado ELGIN 30000 btu	1		0	1.9
	Sala de aula	Carga de tomada	Projektor Epson powerlight x39	1	326	326	0.326
	Sala de aula	Climatização	Ventilador de parede - VOP 50CM STEEL-127V/220V / 3.10KWH.MÊS	2		0	0.1033333333
Sala 15	Sala de aula	Iluminação	Luminária	9	40	360	0.04
	Sala de aula	Climatização	Ar-condicionado ELGIN 30000 btu	1		0	1.9
	Sala de aula	Carga de tomada	Projektor Epson powerlight x39	1	326	326	0.326
	Sala de aula	Climatização	Ventilador de parede - VOP 50CM STEEL-127V/220V / 3.10KWH.MÊS	2		0	0.1033333333
Sala 16	Sala de aula	Iluminação	Luminária	9	40	360	0.04
	Sala de aula	Climatização	Ar-condicionado ELGIN 30000 btu	1		0	1.9
	Sala de aula	Carga de tomada	Projektor Epson powerlight x39	1	326	326	0.326
	Sala de aula	Climatização	Ventilador de parede - VOP 50CM STEEL-127V/220V / 3.10KWH.MÊS	2		0	0.1033333333
Supervisão	Administrativo	Iluminação	Lâmpada	3	17	51	0.017
Sala 17	Sala de aula	Iluminação	Luminária	9	40	360	0.04
	Sala de aula	Climatização	Ar-condicionado ELGIN 30000 btu	1		0	1.9
	Sala de aula	Carga de tomada	Projektor Epson powerlight x39	1	326	326	0.326
	Sala de aula	Climatização	Ventilador de parede - VOP 50CM STEEL-127V/220V / 3.10KWH.MÊS	2		0	0.1033333333
Sala 18	Sala de aula	Iluminação	Luminária	9	40	360	0.04

Ambiente	Tipo de ambiente	Sistema	Aparelho/Modelo	Quantidade	Potência (W)	Potência total (W)	Potência (kWh)
	Sala de aula	Climatização	Ar-condicionado TCL 24000btu	1		0	1.52
	Sala de aula	Carga de tomada	Projeto Epson powerlight x39	1	326	326	0.326
	Sala de aula	Climatização	Ventilador de parede - VOP 50CM STEEL-127V/220V / 3.10KWH.MÊS	2		0	0.1033333333
Sala 19	Sala de aula	Iluminação	Luminária	9	40	360	0.04
	Sala de aula	Climatização	Ar-condicionado ELGIN 30000 btu	1		0	1.9
	Sala de aula	Carga de tomada	Projeto Epson powerlight x39	1	326	326	0.326
	Sala de aula	Climatização	Ventilador de parede - VOP 50CM STEEL-127V/220V / 3.10KWH.MÊS	2		0	0.1033333333
Sala 20	Sala de aula	Iluminação	Luminária	9	40	360	0.04
	Sala de aula	Climatização	Ar-condicionado ELGIN 30000 btu	1		0	1.9
	Sala de aula	Carga de tomada	Projeto Epson powerlight x39	1	326	326	0.326
	Sala de aula	Climatização	Ventilador de parede - VOP 50CM STEEL-127V/220V / 3.10KWH.MÊS	2		0	0.1033333333
Sala de ed. física	Sala de aula	Iluminação	Lâmpada	5	17	85	
	Sala de aula	Iluminação	Lâmpada	2	8.5	17	
	Sala de aula	Climatização	Ar- condicionado MIDEA 3000 btu	1		0	2.1833333333
	Sala de aula	Carga de tomada	Retroprojeto Intelbras	1	326	326	0.326
Bwc	APT (Bwc/depósito)	Iluminação	Lâmpada	1	17	17	0.017
	APT (Bwc/depósito)	Aquecimento de água	Chuveiro			0	0

Ambiente	Tipo de ambiente	Sistema	Aparelho/Modelo	Quantidade	Potência (W)	Potência total (W)	Potência (kWh)
Bwc	APT (Bwc/depósito)	Iluminação	Lâmpada	1	17	17	0.017
	APT (Bwc/depósito)	Aquecimento de água	Chuveiro			0	0
Notebooks salas de aula	Sala de aula	Carga de tomada	Notebook - LATITUDE3400	20	30	600	0.03
Quadra	Quadras esportivas	Iluminação	Luminária high bay	10	200	2000	0.2

Nota: Células em verde indicam os aparelhos com consumo medido.

Fonte: Elaborado pela autora.

APÊNDICE B - ADAPTAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

Pergunta	Resposta
Como você classifica a sua satisfação com as condições físicas (temperatura, qualidade do ar interno, iluminação e acústica) do seu ambiente de trabalho para a realização das suas atividades?	grau de satisfação com as condições físicas em escala de 1 a 10
O seu ambiente de trabalho. Por favor, selecione o tipo de ambiente o qual você passa mais tempo	Salas de aula Salas administrativas outro
Existem janelas e/ou outras áreas envidraçadas no seu ambiente de trabalho?	distância entre a estação de trabalho e as aberturas externas do ambiente, múltipla escolha: a) sim, consigo ver o exterior mesmo quando estou sentado(a) em minha estação de trabalho b) não existem janelas ou outras áreas envidraçadas no meu ambiente de trabalho
De que forma você se sente em relação à temperatura nos ambientes internos da escola?	grau de satisfação com a temperatura em escala de 3 pontos 1 (insatisfeito) 2(pode melhorar) 3 (satisfeito)
Com relação ao ambiente térmico da sua estação de trabalho, você costuma sentir desconforto pelo calor ?	percepção de desconforto térmico na estação de trabalho, considerando escala de frequência da sensação: a) Sempre b) muitas vezes c) algumas vezes d) poucas vezes e) nunca
Com relação ao ambiente térmico da sua estação de trabalho, você costuma sentir desconforto pelo frio?	percepção de desconforto térmico na estação de trabalho, considerando escala de frequência da sensação: a) Sempre b) muitas vezes c) algumas vezes d) poucas vezes e) nunca

Pergunta	Resposta
Com relação ao ambiente térmico da sua estação de trabalho, você costuma sentir desconforto porque há muito vento?	percepção de desconforto térmico na estação de trabalho, considerando escala de frequência da sensação: a) Sempre b) muitas vezes c) algumas vezes d) poucas vezes e) nunca
Com relação ao ambiente térmico da sua estação de trabalho, você costuma sentir desconforto porque há pouco vento?	percepção de desconforto térmico na estação de trabalho, considerando escala de frequência da sensação: a) Sempre b) muitas vezes c) algumas vezes d) poucas vezes e) nunca
Com relação ao ambiente térmico da sua estação de trabalho, você costuma sentir que o Sol direto atrapalha?	percepção de desconforto térmico na estação de trabalho, considerando escala de frequência da sensação: a) Sempre b) muitas vezes c) algumas vezes d) poucas vezes e) nunca
Por favor indique quais dos itens a seguir estão presentes no seu ambiente de trabalho:	identificação dos elementos físicos e equipamentos existentes no ambiente de trabalho, relacionados ao conforto e às condições ambientais, caixa de seleção (pode ser marcada mais de uma alternativa): a) sistema de climatização artificial: ar-condicionado b) sistema de climatização artificial: aquecedores c) ventiladores: de teto e/ou parede; d) ventiladores: portáteis, de mesa e/ou individuais
Na sua estação de trabalho, como você descreve ou classifica o ambiente térmico durante o verão e/ou meses quentes?	percepção do ocupante quanto às condições térmicas do ambiente de trabalho em períodos quentes, em escala Likert de 5 pontos 1 (quente) - 5 (frio)

Pergunta	Resposta
Na sua estação de trabalho, como você descreve ou classifica o ambiente térmico durante o inverno e/ou meses frios?	percepção do ocupante quanto às condições térmicas do ambiente de trabalho em períodos quentes, em escala Likert de 5 pontos 1 (quente) - 5 (frio)
Na sua estação de trabalho, como você descreve ou classifica o movimento do ar durante o verão e/ou meses quentes?	percepção do ocupante quanto às condições térmicas do ambiente de trabalho em períodos quentes, em escala Likert de 5 pontos 1 (ventilado) - 5 (abafado)
Na sua estação de trabalho, como você descreve ou classifica o movimento do ar durante o inverno e/ou meses frios?	percepção do ocupante quanto às condições térmicas do ambiente de trabalho em períodos quentes, em escala Likert de 5 pontos 1 (ventilado) - 5 (abafado)
Na sua estação de trabalho, como você descreve ou classifica o ambiente térmico durante o verão e/ou meses quentes?	percepção do ocupante quanto às condições térmicas do ambiente de trabalho em períodos quentes, em escala Likert de 5 pontos 1 (desconfortável) - 5 (confortável)
Na sua estação de trabalho, como você descreve ou classifica o ambiente térmico durante o inverno e/ou meses frios?	percepção do ocupante quanto às condições térmicas do ambiente de trabalho em períodos quentes, em escala Likert de 5 pontos 1 (desconfortável) - 5 (confortável)
Sobre os controles existentes no seu ambiente de trabalho, como você classifica o nível de controle que você possui sobre o aquecimento e/ou resfriamento?	percepção do ocupante quanto ao grau de autonomia ou capacidade de ajustar as condições térmicas do ambiente de trabalho, múltipla escolha: a) nenhum controle: o controle do termostato e da velocidade e direção do ar-condicionado não está disponível b) algum controle: altero o termostato e a velocidade e direção do ar-condicionado sempre que me sinto desconfortável com a temperatura interna, mas tomo a iniciativa a partir de um pedido do grupo c) controle total: altero o termostato e a velocidade e direção do ar-condicionado sempre que me sinto desconfortável com a temperatura interna

Pergunta	Resposta
Sobre os controles existentes no seu ambiente de trabalho, como você classifica o nível de controle que você possui sobre a ventilação natural?	percepção do ocupante quanto ao grau de autonomia ou capacidade de ajustar as condições térmicas do ambiente de trabalho, múltipla escolha: a) nenhum controle: as janelas não são operáveis e estão sempre fechadas b) nenhum controle: as janelas são operáveis, porém é obrigatório que estejam sempre fechadas c) algum controle: o grupo dá a sua opinião e chegamos a um acordo d) controle total: abro/fecho a janela mais próxima à minha estação de trabalho sempre que me sinto desconfortável com a temperatura, o movimento e/ou a velocidade do ar
Sobre os controles existentes no seu ambiente de trabalho, como você classifica o nível de controle que você possui sobre os ventiladores?	percepção do ocupante quanto ao grau de autonomia ou capacidade de ajustar as condições térmicas do ambiente de trabalho, múltipla escolha: a) nenhum controle: a decisão de ligar ou desligar os ventiladores não é minha b) algum controle: o grupo dá a sua opinião e chegamos a um acordo c) controle total: ligo e desligo o(s) ventilador(es) sempre que me sinto desconfortável
Considerando todos os aspectos, qual o seu nível de satisfação com o ambiente térmico da sua estação de trabalho durante o verão e/ou meses quentes ?	grau de satisfação com o ambiente térmico em escala Likert de 5 pontos 1 (insatisfeito) - 5 (satisfeito)
Considerando todos os aspectos, qual o seu nível de satisfação com o ambiente térmico da sua estação de trabalho durante o inverno e/ou meses frios?	grau de satisfação com o ambiente térmico em escala Likert de 5 pontos 1 (insatisfeito) - 5 (satisfeito)
Temos uma nota baixa Então, para termos certeza, por favor indique os motivos pelos quais você está insatisfeito(a) com o ambiente térmico durante esse período	identificação das principais causas de insatisfação térmica relatadas pelos ocupantes durante o período avaliado, caixa de seleção (mais de uma pode ser selecionada): a) sinto desconforto por calor b) sinto desconforto por frio

Pergunta	Resposta
	c) sinto desconforto porque há muito vento d) sinto desconforto porque há pouco vento e) o sol direto me atrapalha f) sinto desconforto devido à corrente de ar gerada pelo ar-condicionado g) sinto desconforto devido à corrente de ar gerada pelo(s) ventilador(es) h) sinto desconforto devido à corrente de ar proveniente da(s) janela(s)
De que forma você se sente em relação à qualidade do ar nos ambientes internos da escola?	grau de satisfação com a qualidade do ar interno em escala de 3 pontos 1 (insatisfeito) 2 (pode melhorar) 3 (satisfeito)
Com relação ao ar interno próximo à sua estação de trabalho, com qual frequência você costuma identificar cheiros e/ou odores no ambiente?	percepção do ocupante sobre a frequência de sintomas, múltipla escolha a) diariamente, na maior parte do tempo b) diariamente, durante algumas horas c) eventualmente, durante algumas horas d) raramente, durante algumas horas e) nunca sinto
Com relação ao ar interno próximo à sua estação de trabalho, com qual frequência você costuma identificar sensação de fadiga e/ou sonolência?	percepção do ocupante sobre a frequência de sintomas, múltipla escolha a) diariamente, na maior parte do tempo b) diariamente, durante algumas horas c) eventualmente, durante algumas horas d) raramente, durante algumas horas e) nunca sinto
Com relação ao ar interno próximo à sua estação de trabalho, com qual frequência você costuma identificar sensação de ressecamento nos olhos, nariz e/ou mãos?	percepção do ocupante sobre a frequência de sintomas, múltipla escolha a) diariamente, na maior parte do tempo b) diariamente, durante algumas horas

Pergunta	Resposta
	c) eventualmente, durante algumas horas d) raramente, durante algumas horas e) nunca sinto
Com relação ao ar interno próximo à sua estação de trabalho, com qual frequência você costuma identificar irritações na pele e/ou alergias?	percepção do ocupante sobre a frequência de sintomas, múltipla escolha a) diariamente, na maior parte do tempo b) diariamente, durante algumas horas c) eventualmente, durante algumas horas d) raramente, durante algumas horas e) nunca sinto
Considerando todos os aspectos, qual o seu nível de satisfação com a qualidade do ar interno na sua estação de trabalho?	grau de satisfação em escala Likert de 5 pontos 1 (insatisfeito) - 5 (satisfeito)
Temos uma nota baixa para a qualidade do ar... Então, para termos certeza, por favor, indique os motivos pelos quais você está insatisfeito(a).	identificação das principais causas de insatisfação com a qualidade do ar relatadas pelos ocupantes, caixa de seleção (mais de uma pode ser selecionada): a) cheiros e odores b) ambiente abafado c) ar interno muito seco d) ar interno muito úmido e) poeira ou produtos que causam irritação ou alergias
De que forma você se sente em relação ao conforto visual nos ambientes internos da escola?	grau de satisfação em escala de 3 pontos 1 (insatisfeito) 2 (pode melhorar) 3 (satisfeito)
Com relação ao conforto visual na sua estação de trabalho, você costuma sentir desconforto com o ambiente muito claro (muito iluminado)?	percepção de desconforto na estação de trabalho, considerando escala de frequência da sensação: a) sempre b) muitas vezes c) algumas vezes d) poucas vezes e) nunca

Pergunta	Resposta
Com relação ao conforto visual na sua estação de trabalho, você costuma sentir desconforto com o ambiente muito escuro (pouco iluminado)?	percepção de desconforto na estação de trabalho, considerando escala de frequência da sensação: a) sempre b) muitas vezes c) algumas vezes d) poucas vezes e) nunca
Com relação ao conforto visual na sua estação de trabalho, você costuma sentir desconforto com o ofuscamento?	percepção de desconforto na estação de trabalho, considerando escala de frequência da sensação: a) sempre b) muitas vezes c) algumas vezes d) poucas vezes e) nunca
Com relação ao conforto visual na sua estação de trabalho, você costuma sentir algum dos itens a seguir: sinto desconforto com luzes piscando	percepção de desconforto na estação de trabalho, considerando escala de frequência da sensação: a) sempre b) muitas vezes c) algumas vezes d) poucas vezes e) nunca
Na sua estação de trabalho, como você descreve ou classifica a disponibilidade de iluminação artificial (lâmpadas e luminárias)?	percepção do ocupante quanto à iluminação na sua estação de trabalho, em escala Likert de 5 pontos 1(baixa) - 5 (alta)
Na sua estação de trabalho, como você descreve ou classifica a ocorrência de ofuscamento gerado pela iluminação artificial?	percepção do ocupante quanto à iluminação na sua estação de trabalho, em escala Likert de 5 pontos 1(recorrente) - 5 (inexistente)
Na sua estação de trabalho, como você descreve ou classifica a disponibilidade de iluminação natural (luz do sol e o céu) durante o verão?	percepção do ocupante quanto à iluminação na sua estação de trabalho, em escala Likert de 5 pontos 1(baixa) - 5 (alta)
Na sua estação de trabalho, como você descreve ou classifica a disponibilidade de iluminação natural (luz do sol e o céu) durante o inverno?	percepção do ocupante quanto à iluminação na sua estação de trabalho, em escala Likert de 5 pontos 1(baixa) - 5 (alta)
Na sua estação de trabalho, como você descreve ou classifica a disponibilidade de	percepção do ocupante quanto à iluminação na sua estação de trabalho, em escala Likert de 5 pontos

Pergunta	Resposta
iluminação natural (luz do sol e o céu) no período da manhã?	1(baixa) - 5 (alta)
Na sua estação de trabalho, como você descreve ou classifica a disponibilidade de iluminação natural (luz do sol e o céu) no período da tarde?	percepção do ocupante quanto à iluminação na sua estação de trabalho, em escala Likert de 5 pontos 1(baixa) - 5 (alta)
Na sua estação de trabalho, como você descreve ou classifica a ocorrência de ofuscamento gerado pela iluminação natural durante o verão?	percepção do ocupante quanto à iluminação na sua estação de trabalho, em escala Likert de 5 pontos 1(recorrente) - 5 (inexistente)
Na sua estação de trabalho, como você descreve ou classifica a ocorrência de ofuscamento gerado pela iluminação natural durante o inverno?	percepção do ocupante quanto à iluminação na sua estação de trabalho, em escala Likert de 5 pontos 1(recorrente) - 5 (inexistente)
Na sua estação de trabalho, como você descreve ou classifica a ocorrência de ofuscamento gerado pela iluminação natural no período da manhã?	percepção do ocupante quanto à iluminação na sua estação de trabalho, em escala Likert de 5 pontos (recorrente) - 5 (inexistente)
Na sua estação de trabalho, como você descreve ou classifica a ocorrência de ofuscamento gerado pela iluminação natural no período da tarde?	percepção do ocupante quanto à iluminação na sua estação de trabalho, em escala Likert de 5 pontos 1(recorrente) - 5 (inexistente)
Sobre os controles existentes no seu ambiente de trabalho, como você classifica o nível de controle que você possui sobre a iluminação artificial?	percepção do ocupante quanto ao grau de autonomia ou capacidade de ajustar as condições lumínicas do ambiente de trabalho, múltipla escolha: a) nenhum controle: os interruptores não estão localizados na sala b) nenhum controle: as luminárias são acionadas por um único interruptor (todas acesas ou todas apagadas) c) algum controle: posso optar por acender as luminárias de acordo com a luz natural disponível e) controle total: acendo ou apago as luzes sempre que me sinto desconfortável com a iluminação artificial f) controle total: acendo ou apago as luzes sempre que me sinto desconfortável com a iluminação artificial

Pergunta	Resposta
	g) algum controle: o grupo dá sua opinião e chegamos a um acordo
Sobre os controles existentes no seu ambiente de trabalho, como você classifica o nível de controle que você possui sobre a iluminação natural?	percepção do ocupante quanto ao grau de autonomia ou capacidade de ajustar as condições lumínicas do ambiente de trabalho, múltipla escolha: a) nenhum controle: não existem elementos de sombreamento (cortinas ou persianas) para controle da iluminação natural b) controle total: abro e fecho as cortinas sempre que me sinto desconfortável com a iluminação natural c) controle total: abro e fecho as cortinas sempre que me sinto desconfortável com o sol direto d) algum controle: o grupo dá sua opinião e chegamos a um acordo e) nenhum controle: a decisão de abrir ou fechar as cortinas não é minha, os alunos ou colegas operam esse sistema sozinhos
Considerando todos os aspectos, qual o seu nível de satisfação com o ambiente luminoso na sua estação de trabalho?	grau de satisfação em escala Likert de 5 pontos 1 (insatisfeito) - 5 (satisfeito)
Temos uma nota baixa para o ambiente luminoso... Então, para termos certeza, por favor, indique os motivos pelos quais você está insatisfeito(a) com a iluminação em geral.	identificação das principais causas de insatisfação com o ambiente luminoso relatadas pelos ocupantes, caixa de seleção (mais de uma pode ser selecionada): a) sinto desconforto com o ambiente muito claro (muito iluminado) b) sinto desconforto com o ambiente muito escuro (pouco iluminado) c) sinto desconforto com o ofuscamento gerado por lâmpadas e luminárias d) sinto desconforto com o ofuscamento gerado pela luz do sol e do céu e) sinto desconforto com luzes piscando

Pergunta	Resposta
	f) sinto desconforto pois não consigo diferenciar objetos (alto e/ou baixo contraste)
De que forma você se sente em relação ao nível de ruído nos ambientes internos da escola?	grau de satisfação em escala de 3 pontos 1 (insatisfeito) 2 (pode melhorar) 3 (satisfeito)
Com relação ao conforto acústico na sua estação de trabalho, você costuma sentir desconforto com conversas dos colegas?	percepção de desconforto na estação de trabalho, considerando escala de frequência da sensação: a) sempre b) muitas vezes c) algumas vezes d) poucas vezes e) nunca
Com relação ao conforto acústico na sua estação de trabalho, você costuma sentir desconforto com ruídos de equipamentos?	percepção de desconforto na estação de trabalho, considerando escala de frequência da sensação: a) sempre b) muitas vezes c) algumas vezes d) poucas vezes e) nunca
Com relação ao conforto acústico na sua estação de trabalho, você costuma sentir desconforto com o barulho externo vindo da rua?	percepção de desconforto na estação de trabalho, considerando escala de frequência da sensação: a) sempre b) muitas vezes c) algumas vezes d) poucas vezes e) nunca
Em sua estação de trabalho, como você descreve ou classifica o item a seguir: ruídos gerados pelo grupo: conversas que consigo entender tudo que é dito	percepção do ocupante quanto ao nível de incômodo gerado pelos ruídos na sua estação de trabalho, escala Likert de 5 pontos 1 (não incomoda) - 5 (incomoda)
Em sua estação de trabalho, como você descreve ou classifica o item a seguir: ruídos gerados pelo grupo: conversas de fundo, que não consigo entender o que é dito	percepção do ocupante quanto ao nível de incômodo gerado pelos ruídos na sua estação de trabalho, escala Likert de 5 pontos 1 (não incomoda) - 5 (incomoda)

Pergunta	Resposta
Em sua estação de trabalho, como você descreve ou classifica o item a seguir: ruídos gerados pelo grupo: teclados, passos, abertura e fechamento de gavetas, etc	percepção do ocupante quanto ao nível de incômodo gerado pelos ruídos na sua estação de trabalho, escala Likert de 5 pontos 1 (não incomoda) - 5 (incomoda)
Em sua estação de trabalho, como você descreve ou classifica o item a seguir: ruídos gerados pelo edifício: ar-condicionado	percepção do ocupante quanto ao nível de incômodo gerado pelos ruídos na sua estação de trabalho, escala Likert de 5 pontos 1 (não incomoda) - 5 (incomoda)
Em sua estação de trabalho, como você descreve ou classifica o item a seguir: ruídos gerados pelo edifício: outros equipamentos	percepção do ocupante quanto ao nível de incômodo gerado pelos ruídos na sua estação de trabalho, escala Likert de 5 pontos 1 (não incomoda) - 5 (incomoda)
Em sua estação de trabalho, como você descreve ou classifica o item a seguir: ruídos gerados pelo edifício: telefones tocando	percepção do ocupante quanto ao nível de incômodo gerado pelos ruídos na sua estação de trabalho, escala Likert de 5 pontos 1 (não incomoda) - 5 (incomoda)
Em sua estação de trabalho, como você descreve ou classifica o item a seguir: ruídos gerados pelo entorno: barulho externo, vindo da rua	percepção do ocupante quanto ao nível de incômodo gerado pelos ruídos na sua estação de trabalho, escala Likert de 5 pontos 1 (não incomoda) - 5 (incomoda)
Sobre os controles existentes no seu ambiente de trabalho, como você classifica o nível de controle que você possui sobre ruídos externos?	percepção do ocupante quanto ao grau de autonomia ou capacidade de ajustar as condições acústicas do ambiente de trabalho, múltipla escolha: a) controle total: abro e fecho a janela mais próxima sempre que me sinto desconfortável com os ruídos externos b) nenhum controle: as janelas são fixas e estão sempre fechadas c) algum controle: o grupo dá a sua opinião e chegamos a um acordo d) nenhum controle: a decisão de abrir ou fechar a janela não é minha. Os alunos operam as janelas sem me consultar
Considerando todos os aspectos, qual o seu nível de satisfação com a acústica da sua estação de trabalho?	grau de satisfação em escala Likert de 5 pontos 1 (insatisfeito) - 5 (satisfeito)

Pergunta	Resposta
Temos uma nota baixa para o ambiente acústico... Então, para termos certeza, por favor, indique os motivos pelos quais você está insatisfeito(a) com os ruídos em geral.	identificação das principais causas de insatisfação com o ambiente acústico relatadas pelos ocupantes, caixa de seleção (mais de uma pode ser selecionada): a) as conversas do grupo incomodam b) o barulho do ar-condicionado incomoda c) o barulho de outros equipamentos incomoda d) o barulho de telefones tocando incomoda e) o barulho externo, vindo da rua, incomoda
Considerando a configuração física atual do ambiente escolar, você poderia indicar a importância dos fatores a seguir na realização das atividades de trabalho diárias?	grau de importância que o colaborador atribui aos domínios da QAI no seu ambiente de trabalho para desempenhar suas atividades diárias, utilizando uma escala Likert de 5 pontos. a) conforto térmico b) qualidade do ar c) conforto visual d) conforto acústico