



CBCS

Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

RT2A.10: Relatório de Auditorias Energéticas - Tipologia de Escola de Ensino Infantil

PROJETO: ECV – PRFP 003B/2020

CONVÊNIO DE COOPERAÇÃO TÉCNICO-FINANCEIRA ENTRE A ELETROBRAS E O CBCS,
DESTINADO AO DESENVOLVIMENTO DE BENCHMARKS ENERGÉTICOS NO ÂMBITO DO
PROCEL

**Relatório elaborado pelos colaboradores do CBCS CONSELHO BRASILEIRO
DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL:**

Ana Carolina Veloso
Ana Paula Melo
Anderson Letti
Arthur Cursino
Camila Suizu

Clarice Degani
Daniel Amaral
Eduardo Kanashiro
Matheus Geraldi
Roberto Lamberts
Kleber Moura

Coordenação Eletrobras/Procel: Elisete Cunha

Publicado em 18/03/2021

Relatório da atividade 2A com a finalidade de descrever as auditorias energéticas que subsidiaram a configuração dos arquétipos, os dados de entrada das simulações e as escalas de *benchmark* para a tipologia de Escola de Ensino Infantil.

SUMÁRIO

1. CONTEXTUALIZAÇÃO E METODOLOGIA.....	2
Método geral adotado para o convênio	3
2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	4
3. ANÁLISE DOS DADOS DO ESTOQUE.....	6
Características gerais.....	7
Ocupação.....	8
Cargas especiais	10
Intensidade de Uso de Energia (EUI).....	11
Iluminação artificial.....	12
Características construtivas	13
4. AUDITORIAS ENERGÉTICAS	14
Características gerais.....	14
Ocupação.....	16
Cargas especiais	16
Condicionamento de ar.....	17
Iluminação.....	19
Cargas de tomada.....	19
Análise dos usos finais.....	19
5. VALIDAÇÃO DO ARQUÉTIPO E ANÁLISE DOS CONSUMOS	21
Validação do arquétipo e variáveis relevantes	21
Comparação do consumo real com os consumos estimados	22
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	24

1. CONTEXTUALIZAÇÃO E METODOLOGIA

O Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) é uma organização da sociedade civil, sem fins lucrativos, que tem por objetivo contribuir para a promoção do desenvolvimento sustentável, por meio da geração e disseminação de conhecimento e da mobilização da cadeia produtiva do setor da construção civil, de seus clientes e consumidores.

Dentre outras atuações, o CBCS tem desenvolvido ações de *benchmarking* de consumo energético, desde 2013, quando lançou o projeto Desempenho Energético Operacional (DEO) e desenvolveu uma metodologia de *benchmarking* para agências bancárias, para edifícios de escritórios corporativos e para edifícios públicos administrativos.

Em 2018, o CBCS firmou este convênio de cooperação com a Eletrobras, no âmbito do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL, que inclui o projeto intitulado “Estruturação do setor de edificações por meio de estudos e desenvolvimentos de base de dados com indicadores”. O Convênio firmado também tem total aderência com as atividades do Procel Edifica – Eficiência Energética em Edificações, que coordena tecnicamente o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações – PBE Edifica, do Inmetro, programa que define classes de desempenho energético para construções novas.

É clara a necessidade de avanços para o desenvolvimento de um programa nacional de gestão energética em edificações existentes e a pertinência do presente convênio. Sendo assim, para melhor entender o consumo energético das edificações em operação, a fim de permitir a gestão destes consumos e operações mais eficientes, a aplicação de *benchmarks* revela-se um excelente ponto de partida.

Deste modo, o objetivo do convênio é desenvolver *benchmarks* e indicadores de desempenho energético para 15 tipologias de edificações em uso e operação, privadas e públicas, visando o futuro desenvolvimento de uma base de dados de consumo energético e de um programa nacional de gestão energética para edificações em uso, semelhante ao já existente para novas construções.

MÉTODO GERAL ADOTADO PARA O CONVÊNIO

A metodologia adotada para o convênio teve como ponto de partida o estudo da base de dados do projeto META (Projeto de Assistência Técnica dos Setores de Energia e Mineral) da EPE (Empresa de Pesquisa em Energia Elétrica), detalhado no relatório RT1A.01, a partir do qual obteve-se informações para a caracterização de grande parte das diferentes tipologias alvo deste convênio.

No transcorrer do convênio, dados de caracterização do estoque para cada tipologia foram obtidos, tratados e analisados – seja por meio de auditorias ou de bancos de dados já existentes – e foram usados para a construção dos arquétipos e a realização de simulações para cada tipologia. As simulações fundamentaram a construção das equações de *benchmark* e os dados de caracterização do estoque disponível foram utilizados para a validação destas equações. O fluxograma do método é apresentado na

Erro! Fonte de referência não encontrada..

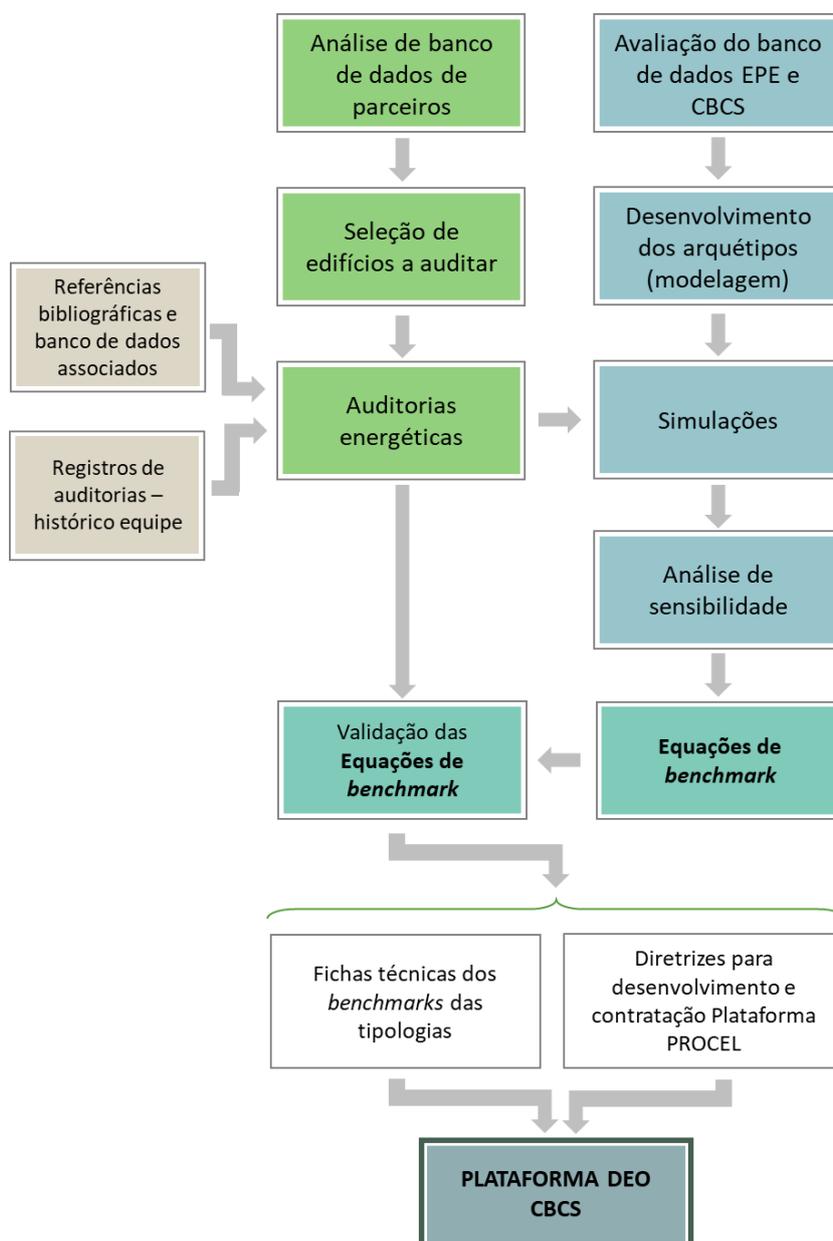


Figura 1 - Método aplicado pelo CBCS para o desenvolvimento dos benchmarks no âmbito deste convênio.

2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este relatório apresenta a caracterização da tipologia de **Escola de Ensino Infantil** a partir da análise de banco de dados e das auditorias energéticas. Registram-se neste relatório todos os métodos utilizados para a realização destas análises, bem como as principais variáveis identificadas para esta tipologia e os seus valores representativos.

A análise de banco de dados foi feita a partir de informações representativas do grupo de edificações dessa tipologia no Brasil, delineando as principais características construtivas, as estatísticas de consumo de energia e a relação dessas características com a região geográfica de uma quantidade extensiva de edificações - denominada de estoque.

As auditorias energéticas são levantamentos de dados coletados por meio de visitas técnicas nas edificações auditadas. Seu objetivo é compreender as especificidades e as variações inerentes de uma amostra de edificações e, dessa forma, enriquecer a caracterização do estoque realizada sobre os bancos de dados extensivos, adicionando a perspectiva da realidade. As auditorias energéticas realizadas no âmbito do presente convênio são simplificações das práticas de diagnóstico energético, as quais geralmente são executadas com a finalidade de medir o desempenho energético de uma edificação, identificar seus usos finais de energia e prospectar medidas de eficiência energética aplicáveis (ISO 50002,2019).

Deste modo, a caracterização da tipologia é uma das etapas da metodologia para o desenvolvimento das equações de *benchmark*, com o objetivo de identificar e entender o padrão construtivo, operacional e de consumo energético das edificações a partir de estudos de caso reais. Estas informações obtidas em campo contribuem para o refinamento dos arquétipos, para a definição dos tipos de sistemas e dos padrões de uso considerados nas simulações, para a calibração dos modelos de simulação e, posteriormente, para as análises de sensibilidade e validação das equações de *benchmark*.

Sempre que possível, o processo de caracterização da tipologia seguiu as seguintes etapas:

- 1) Análise do banco de dados existente;
- 2) Levantamento preliminar de dados adicionais e complementares;
- 3) Análise dos dados preliminares e seleção dos edifícios para visita técnica;
- 4) Realização das visitas técnicas;
- 5) Tabulação das informações levantadas durante visita técnica e análise de dados utilizando a planilha de auditoria energética CBCS-DEO¹;
- 6) Análise da estimativa de consumo de energia elétrica por usos finais;
- 7) Elaboração do relatório de análise de consumo destinado ao parceiro.

Em fevereiro de 2020, a declaração da pandemia de COVID-19 implicou em medidas de isolamento e distanciamento sociais para conter o espalhamento do novo coronavírus pelo país. Em virtude dessas restrições, o acesso de pessoas em geral e da equipe de auditores às edificações foi impedido, e as visitas técnicas em algumas tipologias não puderam acontecer. Para suprir esta lacuna, as visitas técnicas impossibilitadas tiveram como alternativa de levantamento de dados:

- i. Análise de resultados de auditorias energéticas reportadas em pesquisas acadêmicas e em arquivos de profissionais de mercado;

¹ Baseada no TM22 - Memorando Técnico 22 (do inglês: *Technical Memoranda 22 - Energy Assessment and Reporting Method*), desenvolvido pelo CIBSE (do inglês: *Chartered Institution of Building Services Engineers*) publicado em 2006;

- ii. Análise de plantas e memoriais descritivos de projetos de arquitetura, elétrica, luminotécnica e sistemas AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado) de edificações existentes; e
- iii. Entrevistas por videoconferência com gerentes de instalações prediais.

A tabulação das informações, a análise dos dados e a estimativa do consumo de energia por uso final foi feita por meio da planilha eletrônica desenvolvida para este projeto, denominada **Planilha de auditoria energética CBCS-DEO**. Seu método de cálculo leva em consideração a quantidade, a potência, as horas de operação ao longo do ano e o fator de uso dos equipamentos presentes nas edificações, apresentando a estratificação dos consumos por sistema, quando não há medição setorizada na edificação ou quando não foi possível realizar a sub medição durante a visita *in loco*.

O modelo da **Planilha de auditoria energética CBCS-DEO** é apresentado nos relatórios técnicos **RT1A.02** e **RT1B.01** deste convênio.

3. ANÁLISE DOS DADOS DO ESTOQUE

A análise de banco de dados para a caracterização da tipologia de **Escola de Ensino Infantil** foi feita com base nas amostras descritas no projeto META e por meio do compartilhamento voluntário de dados do estoque de parceiros. O banco de dados do estoque apresenta informações pertinentes à caracterização construtiva e ao consumo de energia, com dados de edificações em 16 das 27 unidades federativas brasileiras. A amostra é constituída por dados de 135 unidades de edificações, representando escolas de ensino infantil e creches. Nela, o estado do Santa Catarina contribuiu com dados de 89 edificações, representando aproximadamente 65% do banco de dados.

Filtros para a retirada de valores espúrios de área construída e consumo de energia foram aplicados na amostra bruta, resultado em uma amostra tratada final com 116 unidades. Destas 116 unidades, todas apresentam informações mais completas, contendo as seguintes variáveis: idade de construção, quantidade de funcionários, quantidade de salas de aula e de refrigeradores.

Dados de seis edifícios com auditorias energéticas realizadas durante o convênio são analisados e apresentados separadamente neste relatório.

A Tabela 1 apresenta o resumo do estoque para esta tipologia.

Tabela 1 - Resumo dos dados disponíveis do estoque da tipologia de Escola de Ensino Infantil

RESUMO DO BANCO DE DADOS	
Amostra bruta	135 unidades
Amostra tratada (sem valores espúrios)	116 unidades
Amostra selecionada (dados completos)	116 unidades
Unidades Federativas contendo dados	16
Variáveis Contidas	<ul style="list-style-type: none"> – Dados básicos (Estado, município e parceiro); – Área construída; – Histórico consumo total de energia de (12 meses) – Idade de construção; – Ocupação; – Quantidade de refrigeradores; – Quantidade de salas de aula.
Auditorias energéticas	6 unidades

CARACTERÍSTICAS GERAIS

A Tabela 2 apresenta as medidas de síntese estatística da amostra selecionada para a tipologia de **Escola de Ensino Infantil**.

Tabela 2 – Medidas de síntese estatística das variáveis do estoque para a tipologia de Escola de Ensino Infantil

VARIÁVEIS	VALOR MÍN.	1º QUARTIL (25%)	MEDIANA (50%)	MÉDIA	3º QUARTIL (75%)	VALOR MÁX.
Ano de construção	1.960	1.998	2.000	1.999	2.006	2.012
Número de Funcionários	4	6	10	13	14	45
Número de Funcionários/100 m ²	0	2	6	14	14	300
Número de Salas de Aula	2	2	3	5	4	22
Número de Geladeiras e Freezers	1	1	1	2	2	6
Área média de salas de aula	30	48	50	52	60	80
Área Total [m ²]	8	220	391,21	503,14	575,00	2.200,00
EUI [kWh/m ² /ano]	1,16	17,86	28,11	50,14	50,29	1.070,25

A partir da razão entre consumo de energia de 12 meses e área construída, pode-se calcular o EUI (do inglês: *Energy Use Intensity*, Intensidade de Uso de Energia) de todas as edificações do estoque tratado. A intensidade de uso de energia é um indicador amplamente utilizado para quantificar o uso de energia de uma edificação em relação à sua área construída. Nota-se, que o estoque possui um EUI médio de 50,14 kWh/m²/ano, variando de 17,86 a 50,29 kWh/m²/ano entre o primeiro e o terceiro quartil.

Com relação à área total construída, a amostra apresenta área construída média de 503,14 m², mediana de 391,21 m² e desvio padrão de 428,77 m². A Figura 2 apresenta um histograma da área construída. Observa-se que até 77% edificações têm área construída de até 600 m².

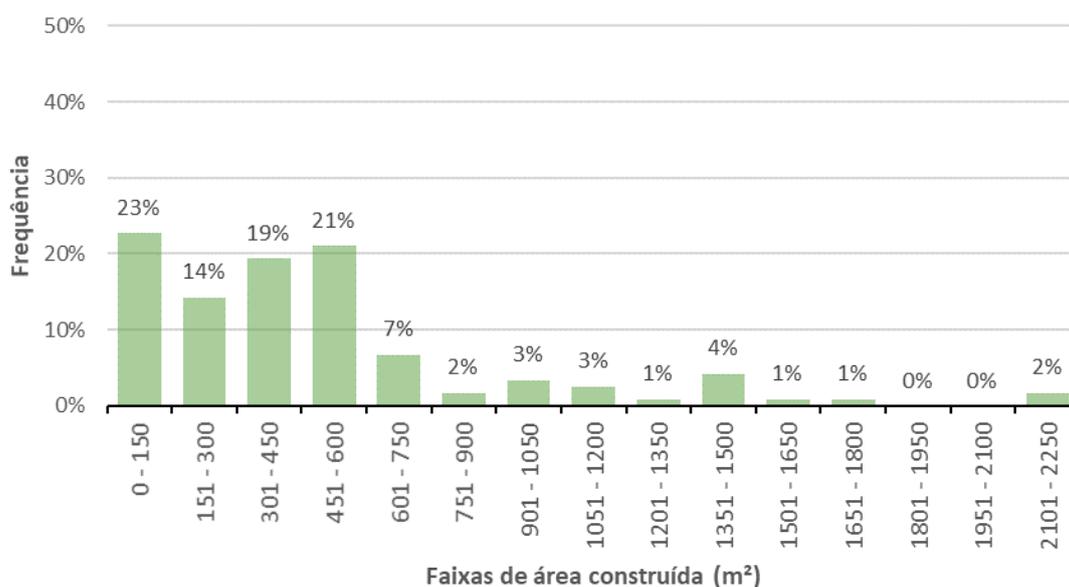
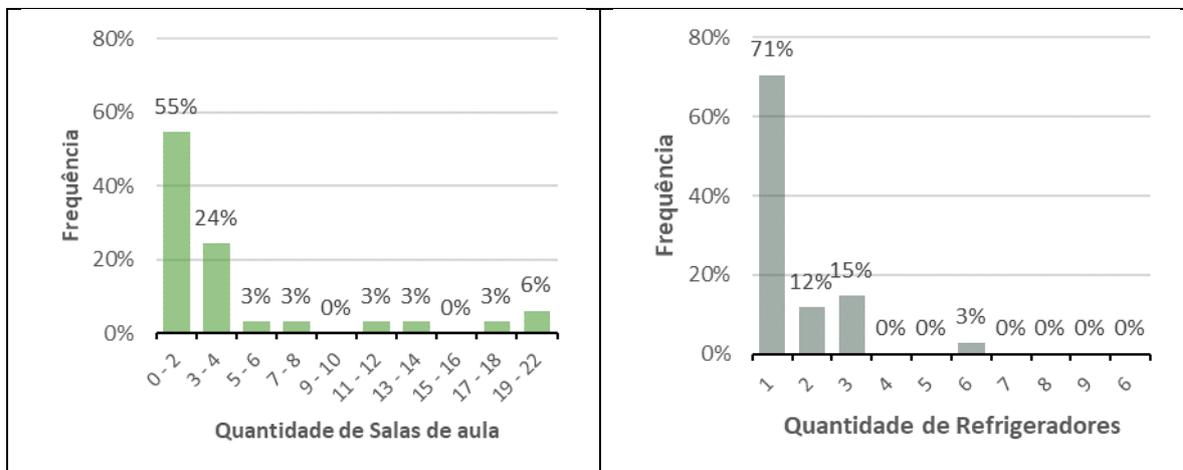


Figura 2 - Histograma da área construída total

Além da área construída, outras características físicas ou de sistemas são determinantes para o consumo de energia. Especialmente para a tipologia de **Escola de Ensino Infantil**, a quantidade de salas de aula e a quantidade de refrigeradores foram identificados como sendo estes fatores, dentre as demais variáveis presentes na base de dados. A Figura 3 apresenta o comportamento das variáveis importantes que caracterizam esta tipologia, considerando a amostra selecionada.



(a)

(b)

Figura 3 – Histograma das variáveis consideradas mais determinantes em relação ao consumo total por edificação

Nota-se que em relação à quantidade de salas de aula, há uma média de 5 salas por edificação, com até 79% das edificações contendo até 4 salas de aula. Já com relação à quantidade de refrigeradores, na amostra da base de dados do projeto META constam diversos tipos de refrigeradores e aqui foram considerados refrigeradores como sendo as geladeiras domésticas e os *freezers* verticais e horizontais. Esses equipamentos são utilizados pela escola para armazenamento de mantimentos que são usados na preparação de merendas diariamente. A média é de 2 refrigeradores por edificação e 98% das edificações apresentam até 3 refrigeradores.

OCUPAÇÃO

A ocupação da tipologia de **Escola de Ensino Infantil** é uma variável composta por duas parcelas: a de funcionários e a de alunos. A Figura 4 apresenta o histograma da quantidade de funcionários das edificações analisadas no estoque.

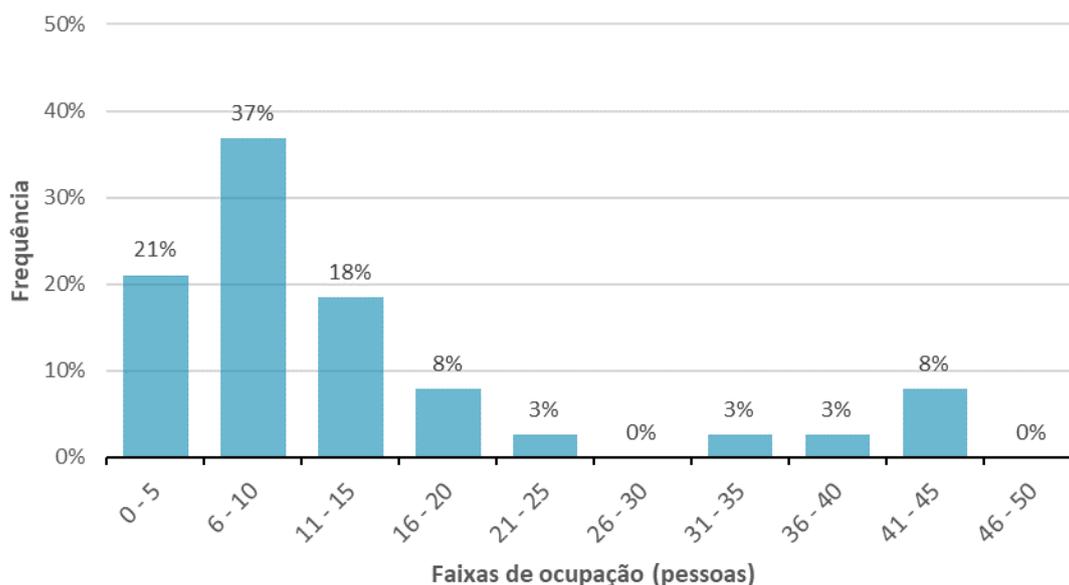


Figura 4 – Histograma da ocupação por funcionários

A quantidade de edificações com até 20 funcionários corresponde a maior parte do estoque, cerca de 84% das edificações. Em média, estes edifícios são ocupados por 13 funcionários. Para este número de funcionários, a proporção de área por funcionário é de 83 m² por funcionário, considerando a área construída média.

No que se refere à quantidade de alunos, a Figura 5 apresenta um histograma dessa variável de acordo com as informações disponíveis.

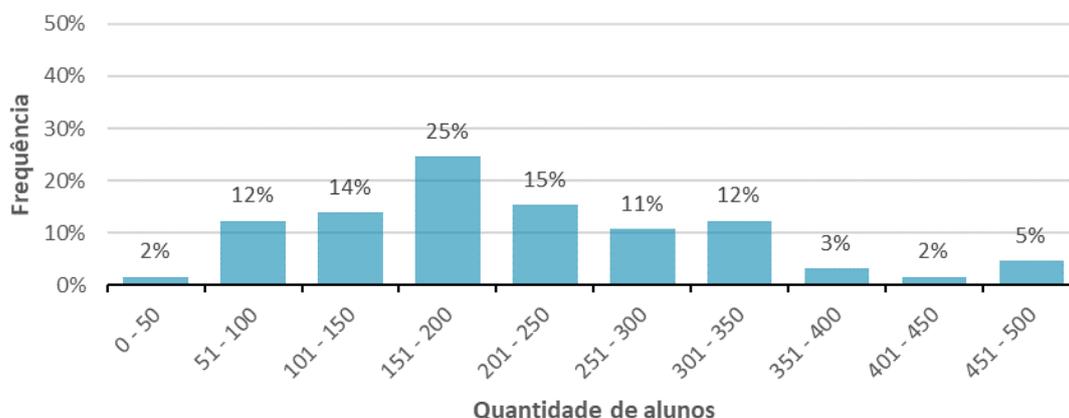


Figura 5 – Histograma da ocupação por alunos

No estoque analisado, uma edificação da tipologia de **Escola de Ensino Infantil** tem em média 300 alunos, resultando em uma ocupação média de 1,7 m² por aluno, considerando a área construída média. A partir da quantidade de funcionários média e a quantidade de alunos reportada, o estoque analisado resulta em uma ocupação de 1,6 m² por pessoa.

Com relação à forma de ocupação dos edifícios, a Figura 6 apresenta a proporção de edificações do estoque se ocupando um único edifício ou mais de um edifício e os seus turnos de uso.

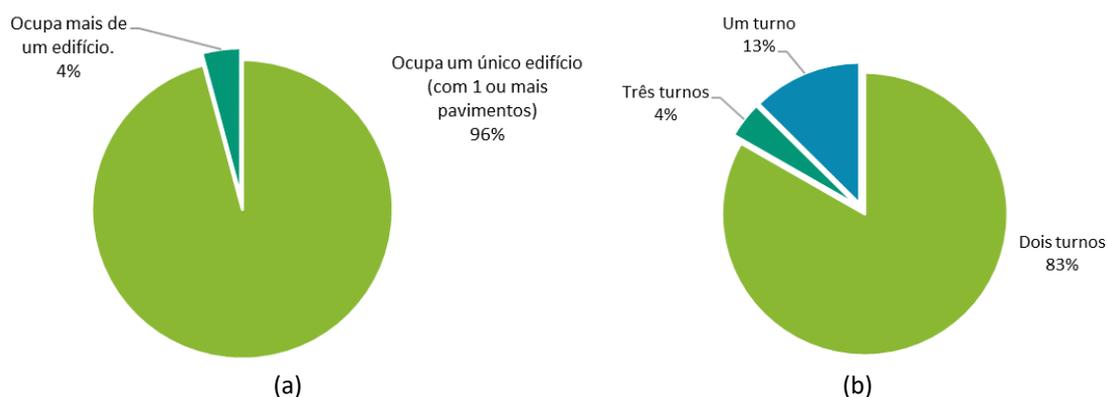


Figura 6 – Ocupação do edifício em termos de (a) número de edificações e (b) turnos de operação

Como grande parte do estoque (96%) ocupa um único edifício, pode-se dizer que esta tipologia é representada majoritariamente por edificações monousoário. Além disso, a operação ocorre principalmente em dois turnos (matutino e vespertino) (83%).

A Figura 7 apresenta a proporção de edificações em relação ao número de pavimentos. É possível perceber que, no estoque estudado, há pouca variabilidade quanto ao número de andares, com presença significativa de edificações térreas. O número máximo de andares observado na amostra foi 5 andares.

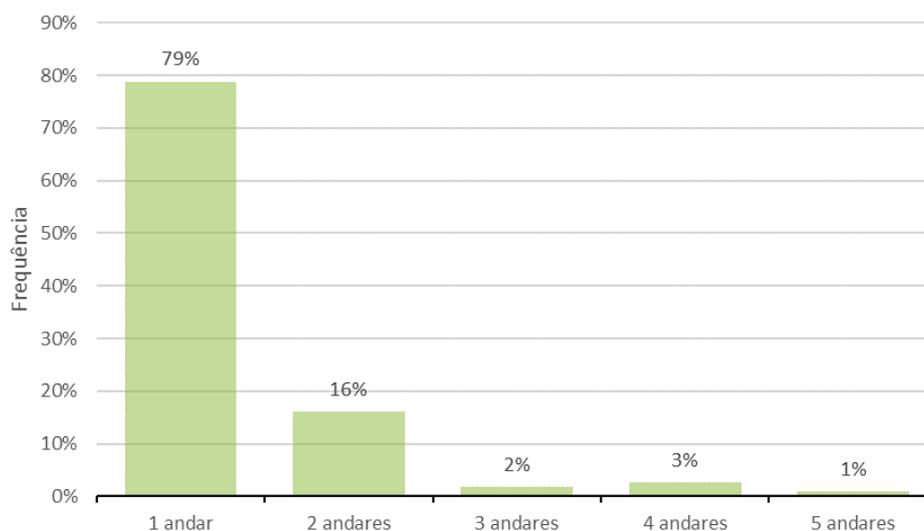


Figura 7 – Histograma do número de pavimentos das edificações

Portanto, a partir das frequências de faixas de ocupação, forma de ocupação e número de pavimentos identificados no estoque, pode-se dizer que uma edificação da tipologia de **Escola de Ensino Infantil** típica é uma edificação predominantemente térrea, bloco único, com aproximadamente 503,14 m² de área construída, ocupação média de 13 funcionários e 300 alunos, com operação em dois turnos.

CARGAS ESPECIAIS

Poucas edificações do estoque analisado da tipologia de **Escola de Ensino Infantil** apresentavam cargas especiais. Quatro edificações apresentavam elevador como cargas especiais, representando cerca de 2% do estoque total.

Não foram disponibilizados dados de Centrais de Processamento de dados (CPDs) na base de dados analisada.

INTENSIDADE DE USO DE ENERGIA (EUI)

O EUI médio para a tipologia de **Escola de Ensino Infantil** na amostra analisada foi de 50,41 kWh/m²/ano, e a mediana 28,11 kWh/m²/ano, com um desvio padrão de 104,25 kWh/m²/ano. A Figura 8 apresenta uma análise da distribuição desta variável. A maior parte das edificações (57%) possui consumos de até 30 kWh/m²/ano, entretanto, há uma parcela que apresenta consumos até 75 kWh/m²/ano. Nestes casos, supõe-se que se trata de edifícios com grande uso de equipamentos de ar-condicionado ou outros equipamentos específicos da unidade de ensino.

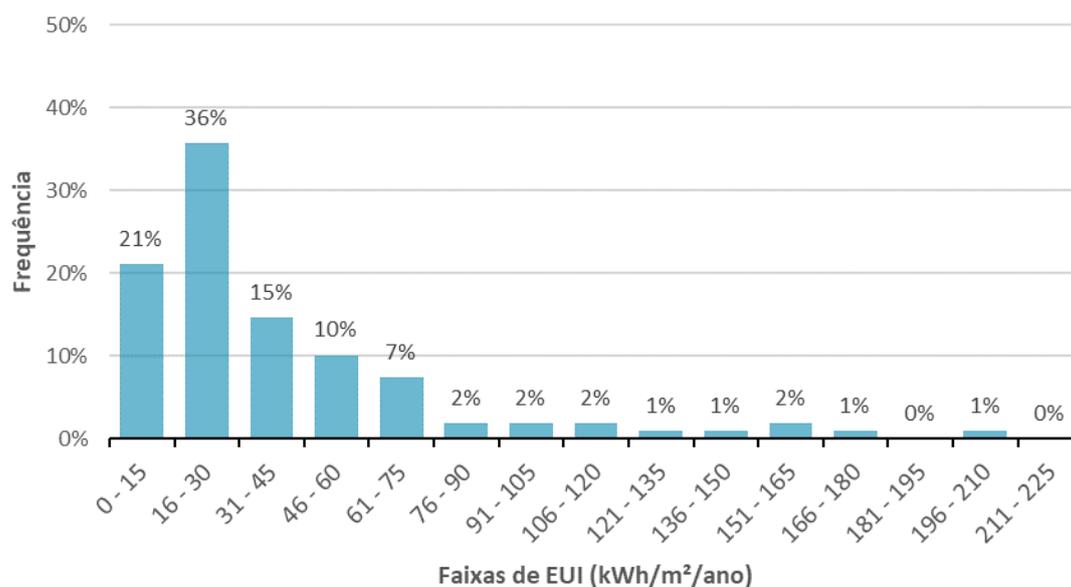


Figura 8 – Histograma da variável EUI

Verificou-se que a variável EUI não possui uma distribuição normal, a partir do teste de Anderson-Darling a 95% de confiança, o qual resultou em um valor de probabilidade de 2×10^{-15} (rejeitando-se a hipótese da normalidade). Porém, é possível observar que a variável segue uma distribuição que se assemelha à log-normal.

Sabe-se que o desempenho do sistema de condicionamento de ar é dependente do clima no qual a edificação está inserida. O Grau-Hora de Resfriamento (GHR) é um indicador utilizado para caracterizar a relação da necessidade de resfriamento do ambiente interno com as condições médias climáticas de uma região, de forma simplificada. Este indicador é obtido por meio da somatória total anual da diferença entre a temperatura operativa horária e a temperatura de base - adotada 15°C.

A Figura 9 ilustra a média de GRH em cada estado do Brasil e associa a média de EUI das edificações do estoque analisado.

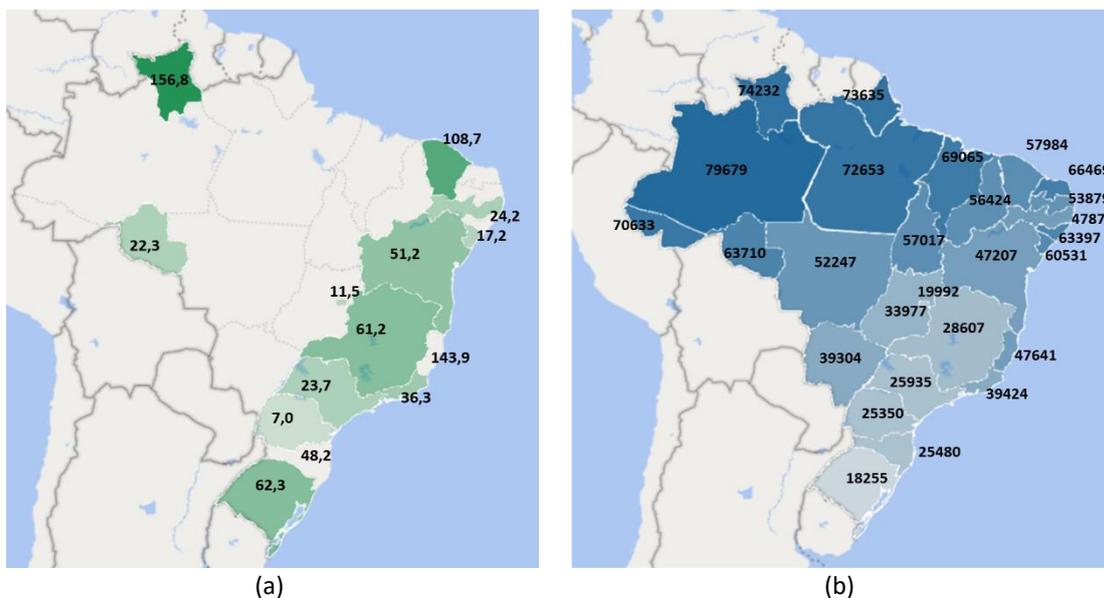


Figura 9 – Comparação entre (a) Média de EUI da amostra e (b) Média de GHR, por estado da federação brasileira.

A Figura 9 ilustra que parte dos estados com maior GHR também apresentam maior EUI médio, o que pode significar que o uso dos equipamentos de condicionamento de ar é influenciado diretamente pelas condições climáticas. A diferença é percebida no estado do Rio Grande do Sul, onde o GHR é menor, porém, provavelmente, o consumo maior se dá para a função de aquecimento dos ambientes. Ressalta-se que a Figura 9.a apresenta apenas o EUI médio nos estados brasileiros dos quais o banco de dados possuía informações (16 unidades federativas).

ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

O padrão de uso da iluminação artificial para a tipologia de **Escola de Ensino Infantil** foi caracterizado por meio do banco de dados do Projeto META, no qual há informações sobre o padrão de uso da iluminação artificial em relação à disponibilidade de luz natural externa (Figura 10).

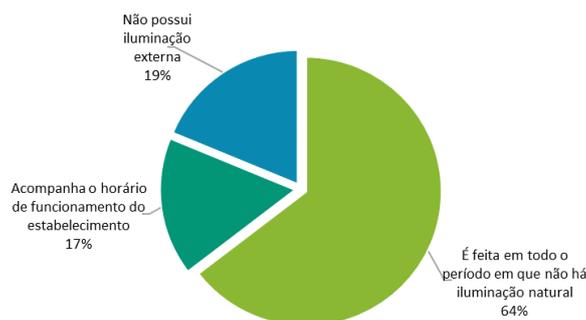


Figura 10 – Padrão de aproveitamento da iluminação natural

Percebe-se que a maior parte das edificações que apresentaram essa informação tendem a aproveitar a iluminação natural externa durante o dia, uma vez que cerca de 64% das edificações reportaram utilizar iluminação artificial apenas quando não há iluminação natural disponível. Em seguida, 17% responderam que há utilização de iluminação artificial durante todo o horário de funcionamento da edificação, o que indica que a iluminação se mantém acionada continuamente.

CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS

A Figura 11 apresenta as características construtivas típicas do estoque analisado para a tipologia de Escola de Ensino Infantil.

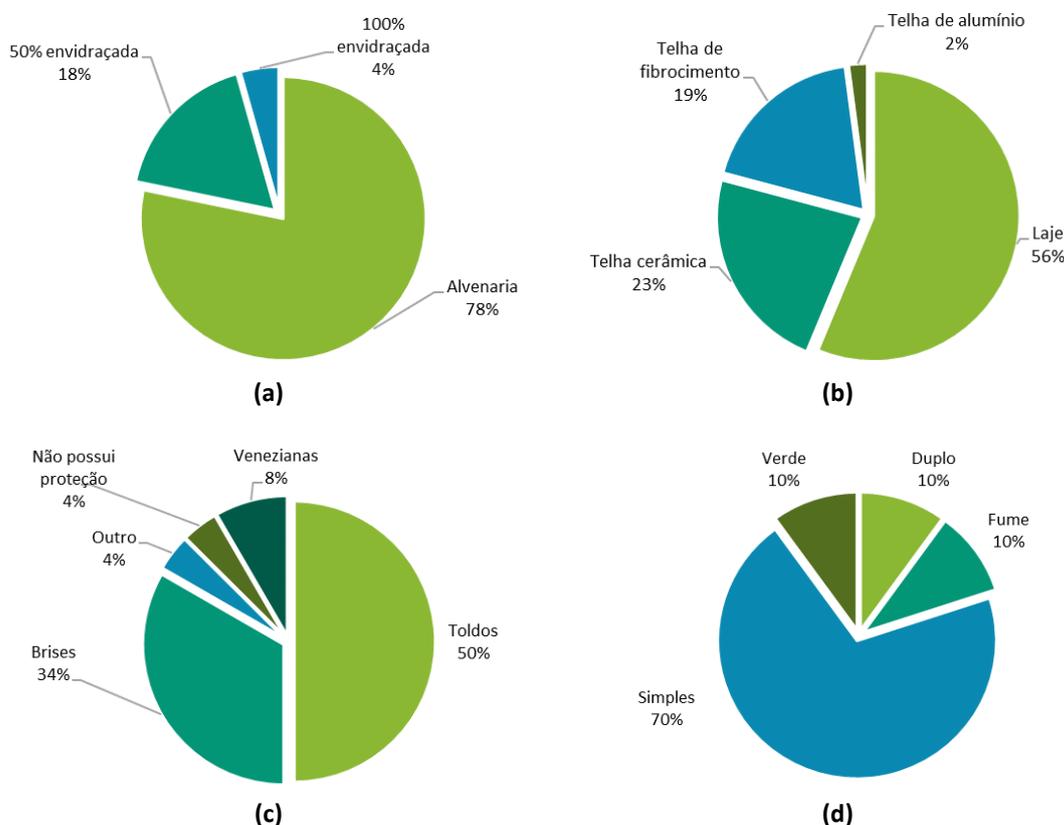


Figura 11 – Características construtivas típicas do estoque – Composição das (a) fachadas, (b) coberturas, (c), sombreamento das fachadas e (d) vidros externos

As características construtivas das vedações externas (fachadas), coberturas, tipos de vidro das esquadrias externas e sombreamentos constituem os elementos da envoltória, que é a interface entre o interior do ambiente construído com o exterior. As propriedades da envoltória são determinantes para o desempenho termo-lumínico-energético da edificação, pois são as propriedades térmicas que vão definir o fluxo de calor entre a edificação e o meio, e é o tamanho e translucidez do vidro que vão determinar a quantidade e a qualidade da iluminação natural que adentra o edifício.

Por meio da Figura 11, percebe-se que a maior parte das edificações têm fachadas de alvenaria (78%), cobertura de laje simples (56%), elementos de sombreamento do tipo toldos (50%) e as esquadrias são compostas por vidros simples incolores (70%).

4. AUDITORIAS ENERGÉTICAS

CARACTERÍSTICAS GERAIS

As seis auditorias energéticas descritas a seguir foram realizadas a partir de visitas *in loco* em seis edificações.

A Tabela 3 apresenta um resumo dos dados principais das edificações analisadas.

Tabela 3 – Dados principais das edificações auditadas

Edificação	A	B	C	D	E	F
Município	Capivari de Baixo	Florianópolis	Florianópolis	Florianópolis	Florianópolis	Florianópolis
Estado	SC	SC	SC	SC	SC	SC
Pavimentos	1	1	1	1	1	1
Subsolos	0	0	0	0	0	0
Pé-Direito¹ [m]	N/D	2,8	3	2,8	2,8	2,8
Formato						
Sombreamento	Cortinas internas					
Perfil de ocupação²	Monouitário	Monouitário	Monouitário	Monouitário	Monouitário	Monouitário
Turnos	1	2	2	2	2	2
Área construída [m²]	585,0	832,8	544,8	1.037,5	177,0	436,0
Área Útil³ [m²]	585,0	832,8	544,8	1.010,3	177,0	386,0
Área Privativa⁴ [m²]	402,1	695,1	446,8	808,6	142,0	271,9
Área Comum⁵ [m²]	131,0	137,8	98,0	99,0	35,0	114,1
Taxa de Ocupação⁶	78%	72%	73%	67%	73%	72%
Quantidade de salas de aula	6	16	5	11	3	5
EUI real [kWh/m²/ano]	2,20	30,46	29,90	24,45	52,44	27,24

¹ Medida de Piso a forro.

² Monouitário - Único Locatário; Multiusuário - Diversos Locatários; Individual - Edifício único; Coletivo - Edifícios Corporativos.

³ Soma das áreas Comuns e Privativas, exclui áreas técnicas, garagens, jardim, depósitos e etc.

⁴ Soma das áreas Privativas (Ex.: Quartos, Salas, Escritórios, etc.).

⁵ Soma das áreas Comuns (Ex.: Corredores, Hall, Academia, Quadra, Piscina e etc.).

⁶ Relação entre a área efetivamente ocupada por alunos, professores e funcionários e a área total

*Nota: N/D = não disponível.

Nota-se que o EUI real das edificações auditadas variou de 2,20 a 52,44 kWh/m²/ano, com média de 27,78 kWh/m²/ano, em contraste com a média de 50,14 kWh/m²/ano identificada na análise do banco de dados do estoque. Apesar da diferença de 44% entre os EUIs médios, observa-se que apenas a edificação “A” está fora da faixa de valores observada na análise do banco de dados dos estoques desta tipologia.

A Tabela 4 apresenta a síntese dos principais sistemas presentes nas edificações auditadas. É importante enfatizar que os projetos compartilhavam características similares e que aqui descreve-se a percepção média destes sistemas.

Tabela 4 – Caracterização dos sistemas das edificações auditadas

SISTEMAS	CARACTERÍSTICAS
Fornecimento de energia	Rede aérea de baixa tensão, subgrupo B3, modalidade tarifária convencional
AVAC	Sistema ar-condicionado pouco presente. Quando presente, foi observado sistema do tipo <i>split On/Off</i> nas salas de aula.
Iluminação	Luminárias com duas lâmpadas tubulares LED de 18 W (39,6 W/luminária); Lâmpadas compactas LED de 9 W; lâmpadas fluorescentes compactas; Refletores LED de 100 W para iluminação externa.
Aquecimento de água	Majoritariamente chuveiro elétrico do tipo ducha 5.400 W.
Cargas de tomadas	Bebedouros e ventiladores das salas de aula, poucos computadores nas áreas administrativas, televisores, copas com geladeira, micro-ondas, cafeteira e fogão.
Cargas específicas	Não foram observadas cargas específicas.
CPDs	Presença de equipamentos do tipo <i>rack</i> e <i>switches</i> para composição da rede interna da edificação, com potências menores e de nobreaks com fonte de alimentação ininterrupta – UPS.
Gerador	Não informado.

Todas as seis edificações têm formato aproximadamente retangular, pé-direito médio de 2,84 m e perfil de ocupação monousuário. Comparando-se com o banco de dados do estoque, 79 % das edificações apresentam essas características da volumetria de forma similar.

De modo geral, as edificações desta tipologia apresentam partido arquitetônico similar, presença de espaços funcionais parecidos, como: áreas comuns (hall de acesso, cantina, espaço para integração); áreas privativas (salas administrativas, salas de professores, brinquedoteca e salas de aula); e áreas técnicas (manutenção, almoxarifado, jardins, depósitos e áreas correlatas).

Dentre as edificações auditadas, a área construída média é de 602,20 m². Em alguns casos, a área útil e a área construída foram informadas como sendo a mesma, em outros casos foi possível determinar a área útil de fato da edificação. A área construída da amostra auditada se mostrou bem próxima da área construída média da análise do estoque. A proporção de área privativa em média é de 76% da área útil, de área comum é em média 19% da área útil e de área técnica é em média 3% da área útil. A Figura 12 apresenta a proporção das áreas comuns e privativas de cada edificação auditada. Percebe-se que as áreas privativas constituem a maior parte em todas as edificações.

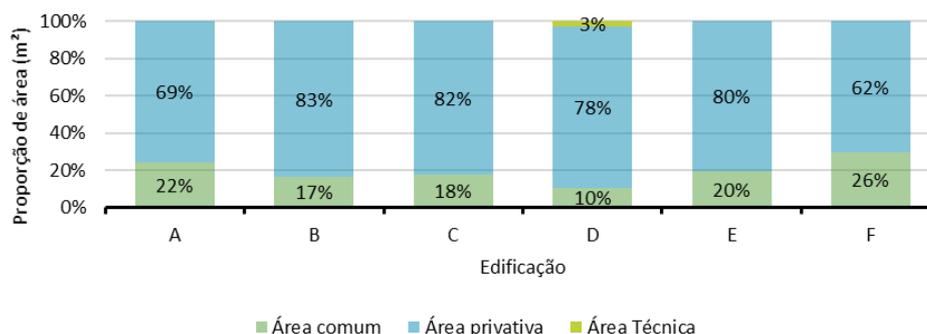


Figura 12 – Proporção dos tipos de áreas das edificações auditadas

OCUPAÇÃO

Todas as seis edificações da tipologia de **Escola de Ensino Infantil** analisadas têm horário de funcionamento nos períodos da manhã e tarde. O período de funcionamento é uma variável importante nesta tipologia, uma vez que é determinada pelos turnos de aulas e, conseqüentemente, tem seu impacto no consumo da edificação.

A quantidade média de funcionários foi de 35 pessoas, contrastando com a média de 13 funcionários por edificação obtida na análise do estoque. A taxa de ocupação variou de 67 a 78%.

Com relação à quantidade de alunos, o valor médio foi de 108 alunos. Considerando a ocupação total da edificação, as auditorias resultaram em uma ocupação média de 4,13 m² por pessoa, diferente do valor médio do estoque analisado, que foi de 1,60 m² por pessoa.

A Figura 13 apresenta tanto a taxa de ocupação quanto o número total de ocupantes da edificação (funcionários e alunos), exceto para a edificação A, que não reportou o número de funcionários, apenas o número de alunos, e para a edificação F, que não forneceu dados de ocupação.

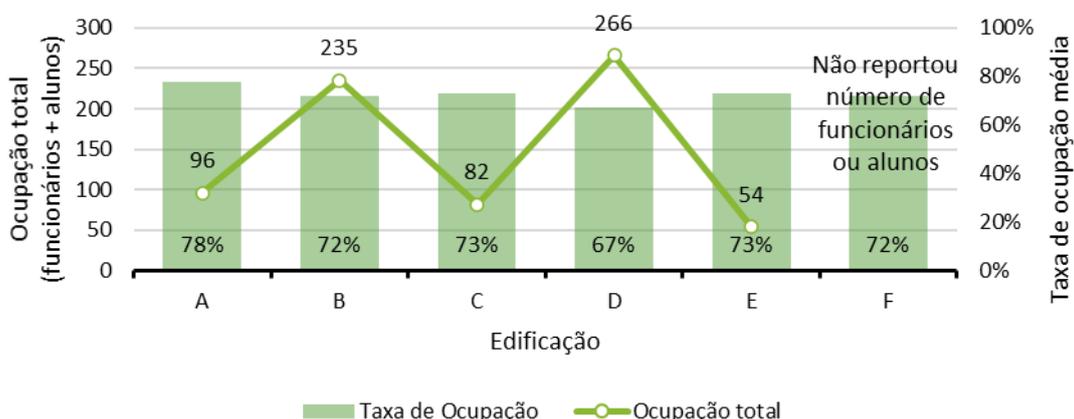


Figura 13 – Taxa de ocupação e quantidade de funcionários

CARGAS ESPECIAIS

Não foram encontradas cargas especiais na amostra de edificações auditadas da tipologia de **Escola de Ensino Infantil**. Observou-se, porém, a presença de elementos de processamento de dados para composição da rede lógica interna da edificação. Estes equipamentos são principalmente *racks* e *no-breaks* que ficam em ambientes administrativos (geralmente a Secretaria ou Diretoria). Também são contabilizados neste caso os chuveiros elétricos utilizados para banhos diários e higienização das crianças. A Figura 14 apresenta o consumo desses equipamentos o impacto no consumo total das edificações auditadas. Esses equipamentos foram agrupados com a nomenclatura de outros equipamentos.

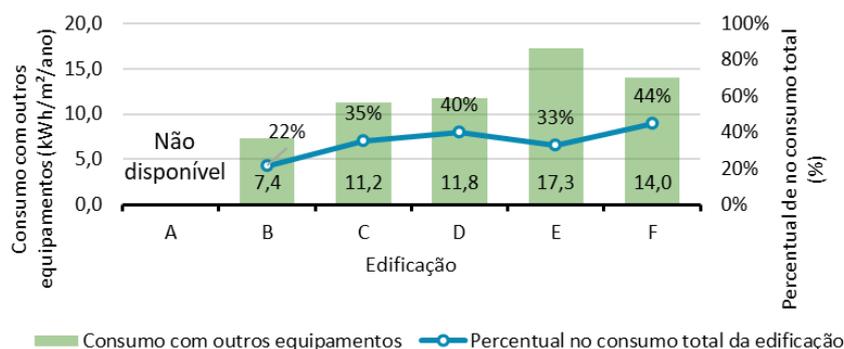


Figura 14 – Proporção do consumo de outros equipamentos em relação ao consumo total das edificações auditadas

A média de consumo com outros equipamentos foi de 12,4 kWh/m²/ano, representando em média cerca de 35% no consumo total médio das edificações auditadas. Pode-se perceber que esses equipamentos têm um impacto significativo no consumo total da edificação, especialmente pelo uso frequente do sistema de aquecimento de água.

CONDICIONAMENTO DE AR

Em termos de equipamentos de condicionamento de ar para a tipologia de **Escola de Ensino Infantil**, a densidade de refrigeração média é de 291,0 BTU/h/m² de área total. Em relação às áreas condicionadas, a densidade de refrigeração média foi de 368,4 BTU/h/m². A Tabela 5 apresenta a síntese da potência dos equipamentos do sistema de condicionamento de ar instalados nas edificações auditadas.

Tabela 5 - Lista de equipamentos do sistema de condicionamento de ar nas edificações auditadas

Edifício	Tipo de equipamento	Ambiente	Potência instalada [BTU/h]
A	Split On/Off	- Salas de aula	30.000
B	Split On/Off	- Salas de aula	18.000 / 30.000
C	Split On/Off	- Salas de aula	54.000
D	Split On/Off	- Salas de aula - Refeitório	60.000
E	Split On/Off	- Salas de aula - Administrativo	90.000
F	Split On/Off	- Salas de aula	90.000

A partir de uma abordagem de aproximação do consumo, baseado no método instituído pela **planilha de auditoria energética CBCS-DEO**, foram estimados os consumos de energia anuais com o sistema AVAC das edificações auditadas. Esta estimativa do consumo levou em consideração a potência de resfriamento dos aparelhos, seus coeficientes de *performance* e as horas de operação das edificações - considerando que o sistema opera sempre que há ocupação e a frequência de uso reportada pelos usuários. A Figura 15 apresenta os resultados dessa estimativa e o quanto o consumo com os sistemas de condicionamento de ar representam no consumo total de cada edificação.

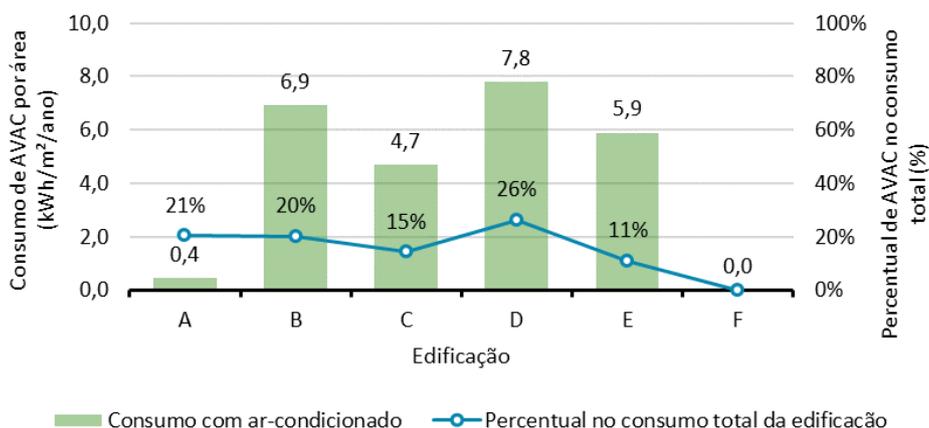


Figura 15 - Proporção do consumo dos sistemas de condicionamento de ar em relação ao consumo total nas edificações auditadas

Percebe-se que o condicionamento de ar é uma parcela expressiva no consumo total edificação, quando existente, variando de 11 a 26% nas edificações auditadas, com média de 20%. É importante dizer que a edificação “F” possuía equipamentos de condicionamento de ar instalados recentemente, porém ainda não utilizados. Dessa forma, preferiu-se não atribuir operação ao sistema para estimativa do consumo total dessa edificação pela planilha CBCS-DEO, uma vez que não há informações realistas para subsidiar o valor de operação desse sistema nessa edificação.

As auditorias evidenciaram que não é comum a presença de sistemas do tipo *self-contained*, mas sim os sistemas do tipo individualizados dedicados a cada uma das áreas condicionadas.

Como o consumo de energia com sistemas de condicionamento de ar é intrinsecamente dependente do clima, é importante visualizar as características climáticas nas quais as edificações estão inseridas. A Figura 16 apresenta os GHR da região única em que estão as edificações auditadas, em conjunto com o EUI total da edificação e o consumo com equipamentos do sistema AVAC. Neste cenário, a análise não foi capaz de trazer maiores correlações.

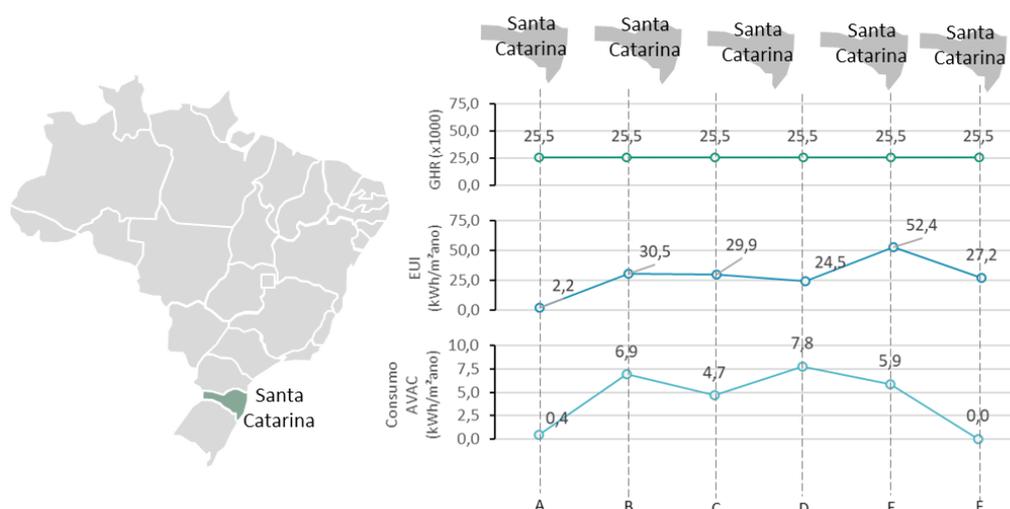


Figura 16 – Relação entre consumo do sistema AVAC, EUI e GHR regiões onde estão inseridas as edificações auditadas

É possível perceber que o consumo com AVAC é pouco variável para o estado no qual as edificações foram analisadas, variando de 0,4 a 7,8 kWh/m²/ano. Percebe-se, além disso, que a edificação com maior consumo com AVAC (Edificação “D”, com 7,8 kWh/m²/ano), não foi a edificação com maior consumo total.

ILUMINAÇÃO

Com relação ao sistema de iluminação na tipologia de **Escola de Ensino Infantil**, verificou-se majoritariamente o uso de lâmpadas do tipo tubular T8 Fluorescente, T5 fluorescente e compactas fluorescentes. A Figura 17 apresenta o consumo com iluminação estimado pela planilha de auditoria energética CBCS-DEO e a proporção do seu consumo em relação ao consumo total estimado da edificação.

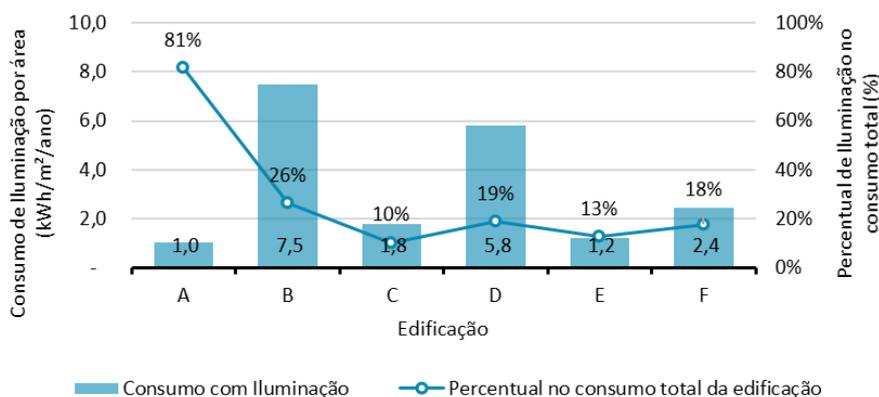


Figura 17 – Proporção do consumo de iluminação nas edificações auditadas

Há uma variação entre os consumos com iluminação por área de 1,0 a 7,5 kWh/m²/ano. O consumo se mostrou expressivo, porém variando muito, de 10 a 81% do consumo anual. O consumo médio com iluminação foi de 3,3 kWh/m²/ano e a densidade de potência de iluminação média foi de 5,53 W/m².

CARGAS DE TOMADA

Cargas de tomada na tipologia de **Escola de Ensino Infantil** constituem um uso final importante em relação ao uso de energia em edificações. No caso das edificações auditadas, estimou-se o consumo com cargas de tomada com base na quantidade de computadores, refrigeradores, televisores e similares que foram registrados no levantamento de dados. A Figura 18 apresenta o consumo com cargas de tomada e a proporção desse uso final no consumo total estimado de cada edificação.

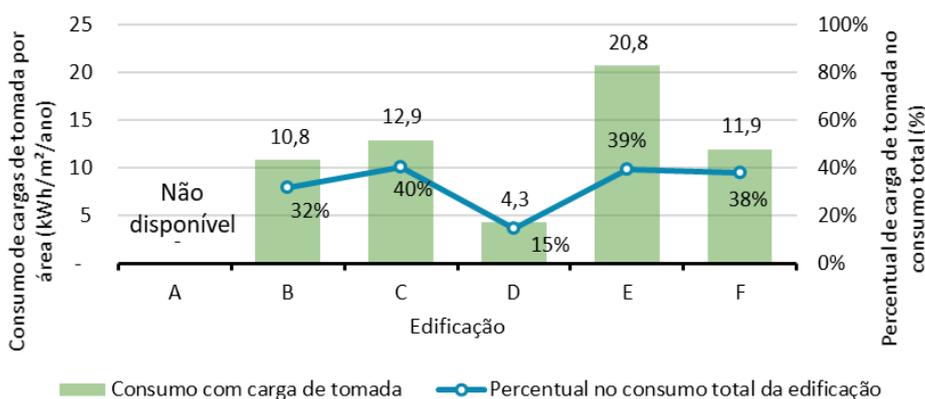


Figura 18 – Proporção do consumo de energia com cargas de tomada nas edificações auditadas

É possível perceber que a proporção das cargas de tomada no consumo total da edificação não apresentou variação significativa entre edificações, porém são bastante expressivas. Em média, pode-se dizer que as cargas de tomada representam cerca de 33% do consumo total anual de uma edificação dessa tipologia. O consumo médio com cargas de tomada foi de 12 kWh/m²/ano.

ANÁLISE DOS USOS FINAIS

A Figura 19 apresenta a síntese dos consumos anuais por área construída dos principais sistemas das edificações da tipologia de **Escola de Ensino Infantil** auditadas e calculados por meio da planilha de auditoria energética CBCS-DEO.

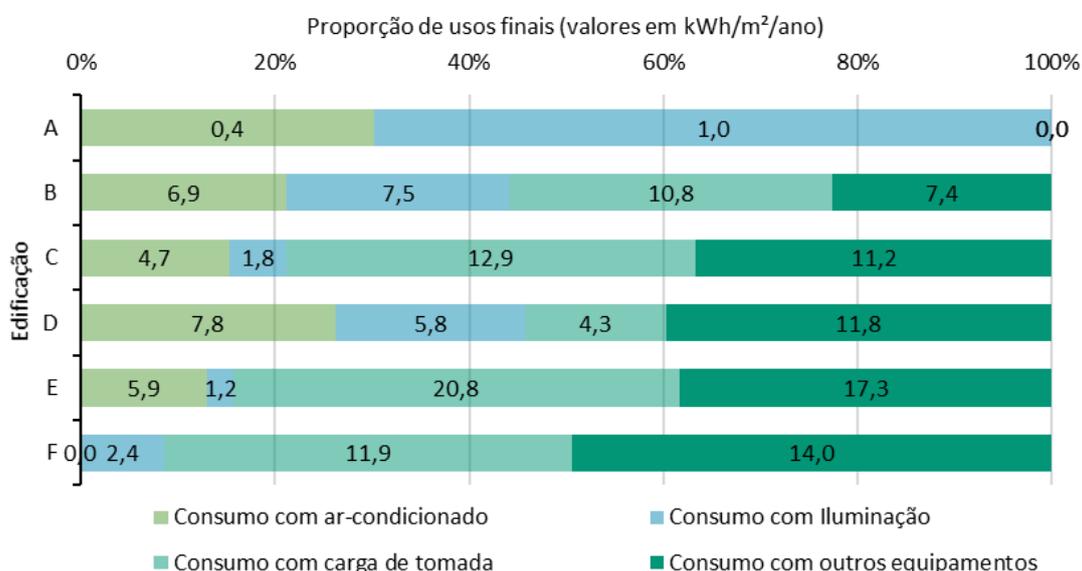


Figura 19 – Proporção e valores dos usos finais por área construída das edificações auditadas

É possível perceber que o consumo denominado como cargas de tomada e como outros equipamentos foram os mais representativos. O consumo com cargas de tomada, representaram em média 12,2 kWh/m²/ano e aproximadamente 33% do consumo médio das edificações auditadas. Já o consumo relativo a outros equipamentos, provenientes das cargas de equipamentos de processamento de dados para composição da rede lógica da edificação e dos sistemas elétricos de aquecimento de água, variaram de 17,3 a 7,5 kWh/m²/ano, representando em média 35% do consumo médio desta tipologia. Ressalta-se que a edificação “A” não apresentou esta informação, dessa forma, o consumo estimado pela planilha carece do acréscimo dessa informação para se tornar próximo ao real.

Na sequência, a iluminação aparece com consumo médio 3,3 kWh/m²/ano (27,831%). Para a edificação “A”, que não apresentou informações sobre outros equipamentos e cargas de tomada, a iluminação foi o uso final mais representativo – ressalta-se ainda que esta edificação também apresentou um EUI muito diferente das demais edificações e pode não ser representativa.

O consumo com sistemas de condicionamento de ar foi pouco expressivo porque apesar de haver esses aparelhos nas edificações auditadas, a maior parte dos aparelhos foi instalada recentemente nas salas de aula, e esses aparelhos não foram utilizados ainda. Então, para preenchimento da planilha CBCS-DEO, optou-se por adotar o uso conforme reportado durante a auditoria, de forma que o resultado da estimativa da planilha pode ser comparado com o consumo real da edificação nos últimos 12 meses. Caso o uso dos equipamentos de condicionamento de ar nas salas de aula fosse estimado, o consumo estimado pela planilha seria necessariamente diferente (e não comparável) com o consumo real, pois o consumo real se refere ao período que as edificações não os possuíam. É válido mencionar que nas escolas B, C, D e E havia equipamentos de condicionamento de ar apenas nas salas administrativas.

Por fim, a partir da estimativa da planilha CBCS-DEO, o EUI médio das edificações auditadas foi de 28,0 kWh/m²/ano.

5. VALIDAÇÃO DO ARQUÉTIPO E ANÁLISE DOS CONSUMOS

VALIDAÇÃO DO ARQUÉTIPO E VARIÁVEIS RELEVANTES

O arquétipo desenvolvido e detalhado no relatório **RT2B.10**, adotado nas simulações para determinação dos *benchmarks* desta tipologia, foi confrontado com os resultados desta análise do estoque e das auditorias energéticas.

A Tabela 6 apresenta a comparação desses dados e os valores adotados para o arquétipo desta tipologia.

Tabela 6 -Resumo dos principais dados construtivos

Dados	Análise do estoque	Auditorias	Arquétipo CBCS
Pavimentos	2	1	2
Subsolos	-	0	0
Pé-Direito* [m]	-	2,84	3,00
Formato	-	Retangular	Retangular
Sombreamento	-	Persianas internas	Variável
Perfil de Ocupação	Monousuário	Monousuário	Monousuário
Turnos	Manhã/Tarde	Manhã/Tarde	Manhã/Tarde
Área Construída [m ²]	Média = 500,00	Média = 602,20	464,35
Área Privativa [%]	-	76%	54,16%
Área Comum [%]	-	19%	45,84%
Área Técnica [%]	-	3%	0%
Ocupação	Média Funcionários e alunos = 1,6 m ² por pessoa	Média Funcionários e alunos = 4,13 m ² por pessoa	Cenário 1=1,0m ² por pessoa Cenário 2=2,0m ² por pessoa Cenário 3 =4,0m ² por pessoa

* Medida de Piso a forro;

O modelo do arquétipo do CBCS foi constituído por uma edificação de dois pavimentos, com um pavimento térreo de 19,85 m x 15,30 m x 3,00m (L x C x A) e um pavimento superior com dimensões 10,50 m x 15,30 m x 3,00m (L x C x A), totalizando 464,35 m². A edificação é do tipo monousuário, com 9 zonas térmicas condicionadas (salas de aula, sala de professor e secretaria) e 9 zonas térmicas não condicionadas, representando áreas comuns, corredores, banheiros e cozinha.

Quanto à ocupação, como notou-se uma significativa variação tanto no estoque quanto nas auditorias, adotou-se este parâmetro como uma variável do modelo. Dessa forma, foram determinados cenários de alta, média e baixa ocupação que foram testados e incluídos na parametrização para criação da equação, de forma que diversas faixas de ocupação sejam representadas na equação.

Considerou-se como parâmetros variáveis na composição dos cenários de simulação do modelo:

- **Ocupação:** um cenário com alta ocupação (1,0 m² por criança), outro cenário com média ocupação (2,0 m² por criança) e outro cenário com baixa ocupação (4,0 m² por criança);
- **Envoltória:** um cenário com envoltória mais isolada ($U_{parede} = 2,55 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$; $U_{cobertura} = 1,01 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$) e outro cenário com envoltória menos isolada ($U_{parede} = 3,85 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$; $U_{cobertura} = 2,09 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$);

- **Iluminação:** um cenário eficiente com Densidade de Potência de Iluminação (DPI) médio de 9,90 W/m² e outro menos eficiente com DPI médio de 16,32 W/m²;
- **AVAC:** um cenário com equipamentos do tipo Split nas salas de aula e salas administrativas (EER=3,43 W/W) e outro cenário com ventiladores nestes mesmos ambientes;
- **Turno:** um cenário com aulas no período da manhã e outro cenário com aulas nos períodos da manhã e tarde;
- **Sombreamento:** um cenário com janelas de vidros simples, sem barreiras opacas, e outro cenário com janelas do tipo veneziana;
- **Orientação solar:** quatro cenários, um para fachada principal voltada para cada uma das orientações solares Leste, Oeste, Norte e Sul;
- **Cor da envoltória:** um cenário considerando cores mais escuras (absortância = 0,7) e outro cenário considerando cores mais claras (absortância = 0,3);
- **Renovação de ar:** um cenário sem renovação de ar e outro cenário com renovação de ar com a vazão apropriada de acordo com o tipo de ambiente, conforme Nível 2 da norma ABNT NBR 16401-3.

COMPARAÇÃO DO CONSUMO REAL COM OS CONSUMOS ESTIMADOS

A comparação do consumo real com as estimativas é uma etapa importante de validação dos métodos utilizados para estimativa do consumo de energia em edificações.

O método de estimativa de consumo energético proposto pela planilha CBCS-DEO leva em consideração as potências, a operação e o fator de uso de cada equipamento presente na edificação. Já a estimativa pela equação de *benchmark* é obtida por meio da aplicação de regressão múltipla, calculada a partir dos resultados das simulações realizadas sobre o arquétipo embasado nas auditorias e análises do estoque detalhados no presente relatório.

Assim, a estimativa do consumo de energia anual também foi calculada, por meio da inserção das informações obtidas nas seis auditorias realizadas nas equações desenvolvidas para a tipologia de **Escola de Ensino Infantil**, detalhadas no **relatório RT2B.10**, a qual considera as seguintes variáveis independentes:

- GHR – Graus-hora de resfriamento da cidade onde se localiza a edificação;
- GDA – Graus-dia de aquecimento da cidade onde se localiza a edificação;
- ILUM – Densidade de potência de iluminação instalada (W/m²);
- PESS – Densidade de alunos em sala de aula (m² por criança);
- TURN – Turno;
- RENO – Renovação de ar;
- ÁREA_{salas} – Área total de salas de aula;
- ÁREA_{adm} – Área total de salas administrativas;
- ÁREA_{demais} – Área total dos ambientes não condicionadas;
- ÁREA_{total} – Área interna total (somatória das áreas acima).

A Figura 20 apresenta a comparação do consumo real das edificações auditadas em relação às estimativas calculadas por meio da planilha de auditoria energética CBCS-DEO e das equações de *benchmark* desta tipologia.

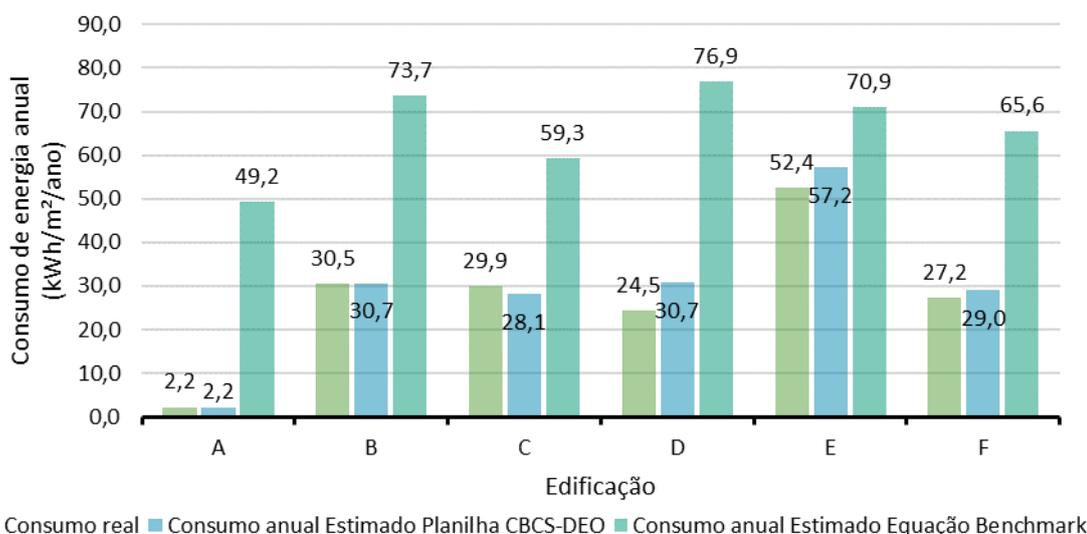


Figura 20 – Comparação do consumo real e consumos estimados pela planilha CBCS-DEO e pela equação de benchmark desta tipologia

De maneira geral, é possível visualizar que as estimativas realizadas pela planilha CBCS-DEO se aproximaram do consumo real de todas as edificações auditadas, com variações na ordem de 1 a 9%.

Com relação à estimativa do consumo pela equação de *benchmark*, percebe-se que a equação apresentou uma tendência a estimar valores maiores do que real. Um dos fatores que podem ter contribuído para esse resultado foi que o arquétipo foi estimado considerando uma carga instalada de tomada bem superior à encontrada nas auditorias realizadas e, também, todas as salas de aula e salas administrativas condicionadas – deferentemente das edificações auditadas. A diferença entre consumo estimado pela equação e o consumo real variou de -96 a -58%.

De fato, há uma incerteza inerente do processo de estimativa, que pode acarretar variações expressivas por motivos de diferenças em operação dos sistemas e variações climáticas. Espera-se variações da ordem de até 40%¹ quando estimativas desse tipo são feitas em sistemas simulados de edificações. Esse tipo de variação é denominado pela literatura internacional de *energy performance gap*², e vem sendo cada vez mais explorado para identificar suas causas e procurar formas de mitigação. Atualmente, sabe-se que as principais causas do *energy performance gap* são as variações de operação causadas pelo usuário e as variações climáticas que são imprevisíveis a longo prazo.

¹ De Wilde, Pieter. 2014. "The Gap between Predicted and Measured Energy Performance of Buildings: A Framework for Investigation." *Automation in Construction* 41:40–49.

² Coleman, Sylvia and John B. Robinson. 2018. "Introducing the Qualitative Performance Gap: Stories about a Sustainable Building." *Building Research and Information* 46(5):485–500.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este relatório apresenta a caracterização da tipologia de **Escola de Ensino Infantil** a partir da análise de dados do estoque de edificações (com 116 dados completos e tratados, cobrindo 16 Unidades Federativas brasileiras), e da análise de auditorias energéticas realizadas em seis edificações em duas cidades.

A análise do estoque e a síntese dos resultados das auditorias energéticas realizadas serviram para caracterizar uma amostra de edificações desta tipologia, identificando os principais usos finais de energia em cada edificação e as suas proporções em relação aos consumos totais anuais.

A partir de extensiva análise das características contidas nestas bases de dados, foram identificados os aspectos predominantes pertinentes a esta tipologia, relacionados a características construtivas, ocupação, cargas especiais, sistema de condicionamento de ar, iluminação e cargas de tomada.

O processo de validação comparou estas características e os resultados das auditorias, confrontando os valores de consumo real com os valores estimados, tanto pelo método de estimativa da planilha de auditoria energética CBCS-DEO quanto pela equação de *benchmark* desenvolvida.

A comparação dos consumos estimados com o consumo real evidenciou que o método de estimativa da planilha CBCS-DEO proporciona resultados coerentes com a realidade encontrada nas edificações auditadas, uma vez que os valores de consumo estimados foram próximos dos valores de consumo reais. Diferentemente, as estimativas realizadas pela equação de *benchmark* levaram a resultados bem superiores aos valores de consumo por metro quadrado real das edificações auditadas, com uma diferença média de 59%. Poderia ser justificada essa diferença não só pela variação natural que ocorre na operação dos equipamentos existentes nas edificações, mas especialmente pela condição de formação do arquétipo: o arquétipo foi simulado considerando salas de aula e administrativas condicionadas, enquanto o consumo real reportado pelas edificações auditadas não considera uso de equipamentos de condicionamento de ar nestas áreas tão frequentemente. De fato, o consumo com este sistema nas edificações auditadas é baixo, pois apesar de haver equipamentos instalados, foram instalados recentemente e ainda não utilizados.