



CBCS

Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

RT2A.07: Relatório de Auditorias Energéticas - Tipologia de Comércio de Varejo de Grande Porte

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 08/03/2021

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 Comércio de Varejo de Grande Porte.

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.....	9
Cargas especiais	11
Intensidade de Uso de Energia (EUI).....	11
Iluminação artificial.....	12
Características construtivas	12
4. AUDITORIAS ENERGÉTICAS	14
Características gerais.....	14
Ocupação.....	16
Cargas especiais	16
Condicionamento de ar.....	18
Iluminação.....	19
Cargas de tomada.....	20
Análise dos usos finais.....	20
5. VALIDAÇÃO DO ARQUÉTIPO E ANÁLISE DOS CONSUMOS	22
Validação do arquétipo e variáveis relevantes	22
Comparação do consumo real com os consumos estimados	23
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	25

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

Figura 1.

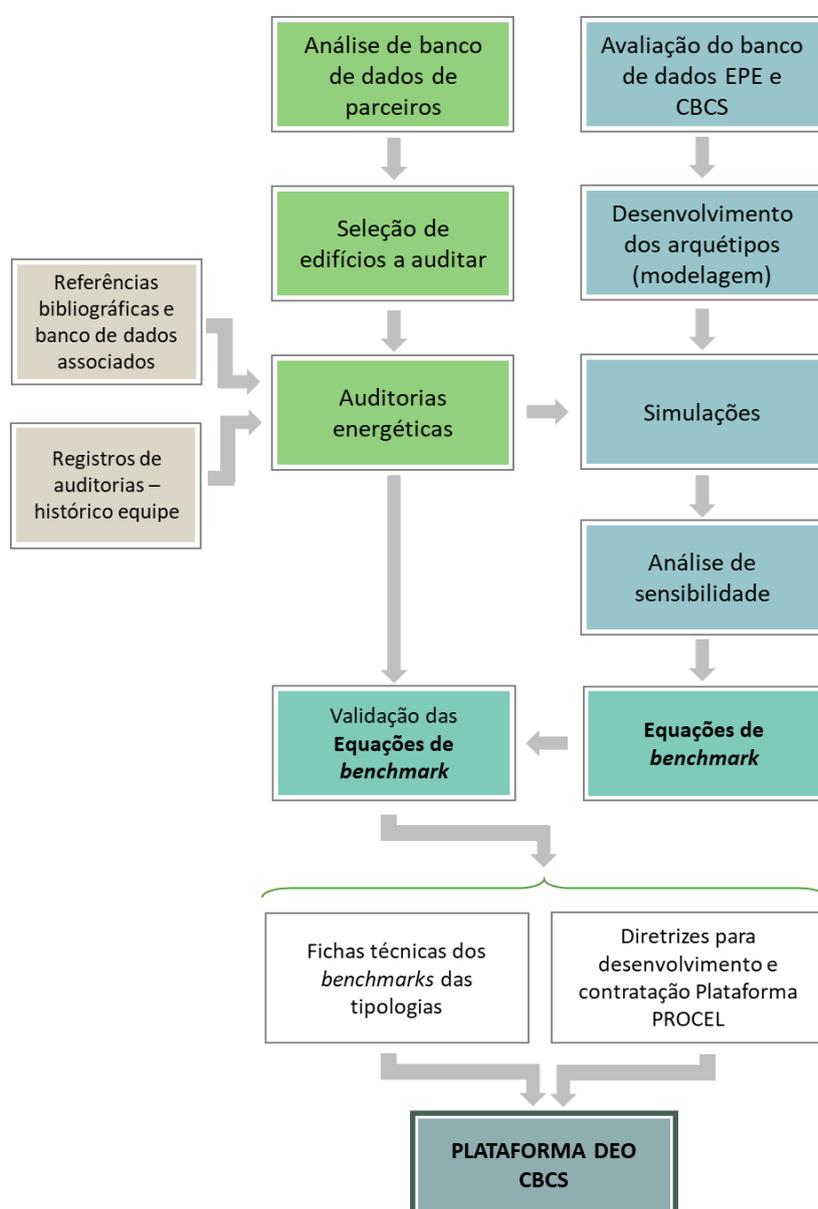


Figura 1 - Método aplicado pelo CBCS para o desenvolvimento dos benchmarks no âmbito deste convênio

2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este relatório apresenta a caracterização da tipologia de **Comércio de Varejo de Grande Porte** 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 **Comércio de Varejo de Grande Porte** 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 de 24 das 27 unidades federativas brasileiras. A amostra é constituída por dados de 799 unidades de edificações fornecidos por parceiros e 19 edificações provenientes da base de dados do projeto META, totalizando 818 edificações. Desta amostra, o estado de São Paulo apresenta dados de 306 unidades, representando aproximadamente 37% do banco de dados, seguido pelo estado do Rio de Janeiro, com 14% dos dados da amostra.

Filtros para a retirada de valores espúrios de área construída e consumo de energia foram aplicados na amostra bruta, resultando em uma amostra tratada final com 808 unidades. Destas 808 unidades, apenas 11 unidades (aproximadamente 2%) apresentaram informações mais completas, contendo as seguintes variáveis: quantidade de funcionários, número de salas ou setores de vendas, quantidade de geladeiras e freezers. Fortuitamente, o banco de dados oferecido pelo parceiro disponibilizou informações complementares de área condicionada e área de vendas.

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

A Tabela 1 apresenta o resumo dos dados disponíveis do estoque e que foram analisados.

Tabela 1 - Resumo dos dados analisados da tipologia de Comércio de Varejo de Grande Porte.

RESUMO DO BANCO DE DADOS	
Amostra bruta	818 unidades
Amostra tratada (sem valores espúrios)	808 unidades
Amostra selecionada (dados completos)	11 unidades
Unidades Federativas contendo dados	24
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; – Quantidade de funcionários; – Quantidade de geladeiras e freezers; – Área condicionada*; – Área de vendas*
Auditorias energéticas	5 unidades

* Dados contidos no portfólio do parceiro (799 unidades).

CARACTERÍSTICAS GERAIS

A Tabela 2 apresenta as medidas de síntese estatística da amostra tratada para a tipologia de **Comércio de Varejo de Grande Porte**.

Tabela 2 – Medidas de síntese das variáveis do estoque para a tipologia de Comércio de Varejo de Grande Porte

VARIÁVEIS	VALOR MÍN.	1º QUARTIL (25%)	MEDIANA	MÉDIA	3º QUARTIL (75%)	VALOR MÁX.
Ano de construção	1955	1975	1985	1985	2000	2005
Número de Funcionários	2	5	8	26	53	63
Número de Funcionários/100 m ²	0,38	0,77	2,26	2,85	2,85	12,00
Área condicionada (m ²)	0,00	564,62	981,63	1.028,59	1.368,98	6.401,90
Área de vendas (m ²)	41,94	511,29	884,83	929,54	1.231,30	5.147,11
Número de Salas ou Setores de Vendas	1	1	2	4	8	12
Número de Geladeiras e Freezers	1	1	1	1	1	2
Área Total [m ²]	500,05	976,1	1.444,9	1.571,6	1.884,3	17.925,6
EUI [kWh/m ² /ano]	0,5	68,2	96,0	102,2	130,5	499,9

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 102,2 kWh/m²/ano, variando de 68,2 a 130,5 kWh/m²/ano entre o primeiro e o terceiro quartil. Nota-se que o valor máximo é bastante elevado em relação à média. Porém, reitera-se que os valores espúrios já foram retirados.

Com relação à área construída, a amostra apresenta área média de 1.571,6 m², mediana de 1.444,9 m² e desvio de padrão de 1.078,56 m. A Figura 2 apresenta um histograma da área construída das edificações da base de dados. Observa-se que até 53% das lojas de tipologia **Comércio de Varejo de Grande Porte** têm área construída de até 1.500 m². Nota-se que a área construída foi contabilizada nesta tipologia a partir de 500 m², uma vez que as edificações com áreas menores do que essa estão consideradas na tipologia de Comércio de Pequeno Porte.

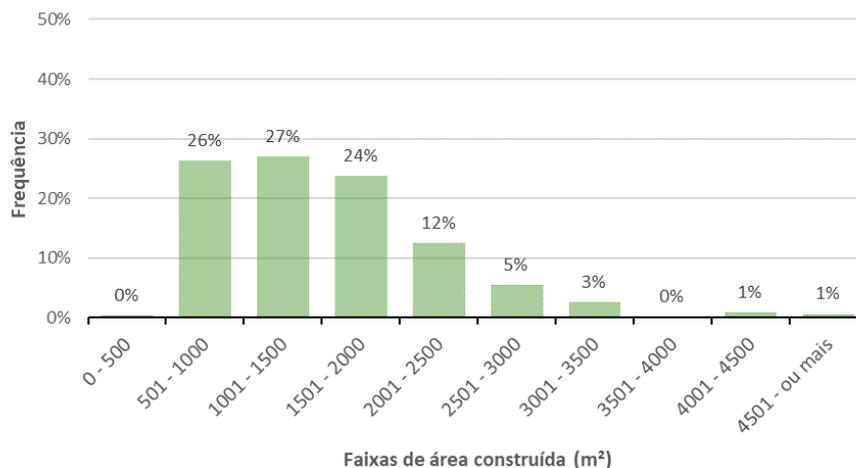


Figura 2 - Histograma da área construída

Além da área construída, algumas características físicas ou de sistemas são determinantes para o consumo de energia. Especificamente para a tipologia de **Comércio de Varejo de Grande Porte**, a área condicionada, as áreas de vendas e a quantidade de salas ou setores de vendas 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 para as edificações que apresentaram essas informações.

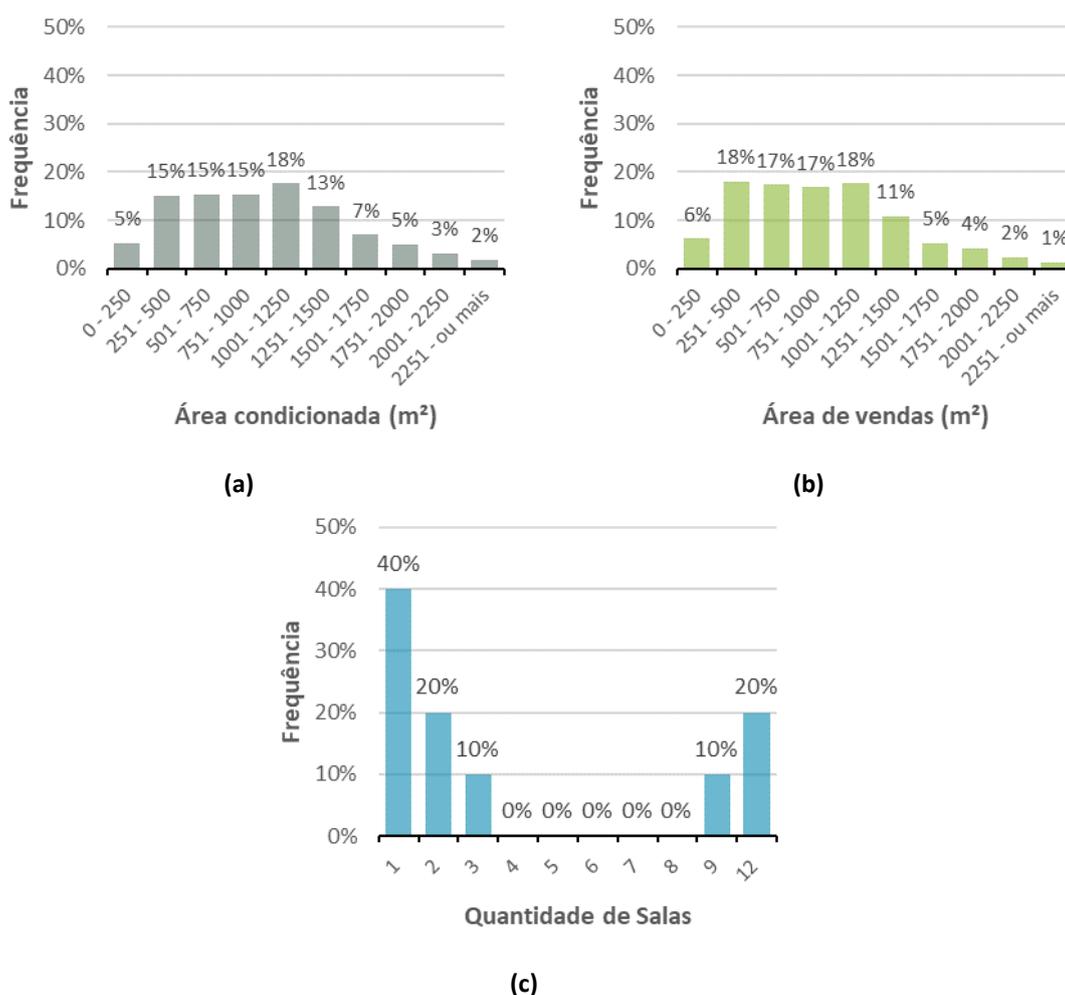


Figura 3 – Histograma das variáveis consideradas mais determinantes em relação ao consumo total por edificação

A Figura 3 revela que para a tipologia de **Comércio de Varejo de Grande Porte**, a área condicionada média é de 1.028 m², sendo que 50% do banco de dados do estoque é representando por esse valor. Comparando-se com a área construída média, pode-se dizer que até 65% da área construída da edificação é condicionada.

Quanto à área de vendas, o valor médio é de 929 m², que corresponde a 59% da área construída média das edificações do banco de dados. Cerca de 17% do estoque analisado se encaixa nessa faixa.

A maior parte das edificações é composta por uma sala única (40% do estoque), mas há a presença de lojas com múltiplas salas de vendas, uma vez que cerca de 30% possuem entre 9 a 12 salas.

OCUPAÇÃO

A caracterização da ocupação de edificações da tipologia de **Comércio de Varejo de Grande Porte** foi feita de acordo com a informação de colaboradores (funcionários) da edificação. A Figura 4 apresenta o histograma da quantidade de funcionários das edificações analisadas no estoque.

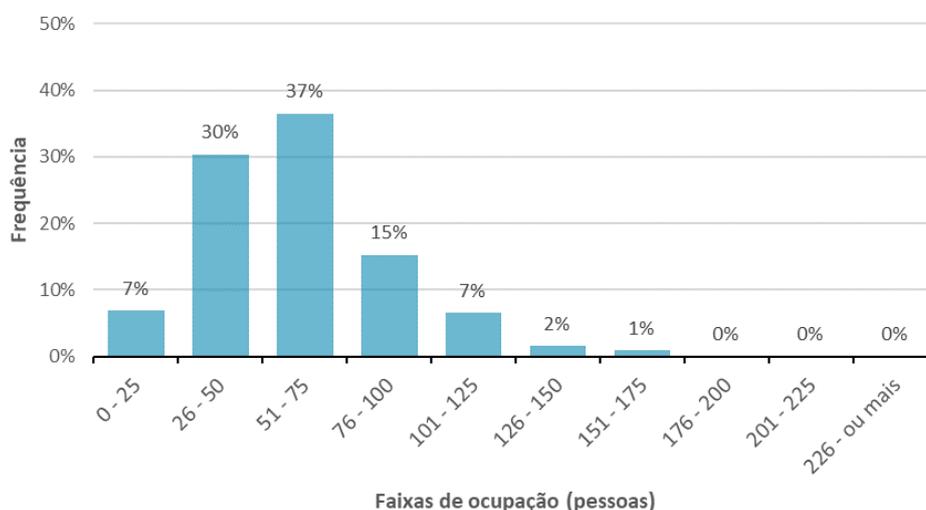


Figura 4 – Histograma da ocupação por funcionários

A quantidade de edificações com até 75 funcionários corresponde a maior parte do estoque, cerca de 75% das edificações. Em média, uma edificação dessa tipologia possui 61 funcionários. Considerando-se como base a área construída média do banco de dados analisado e a quantidade média de funcionários, a densidade de ocupação é de 25 m² por pessoa.

Outra variável determinante para a tipologia de **Comércio de Varejo de Grande Porte** é a quantidade de dias de operação, ou seja, se a edificação funciona 5 dias na semana (de segunda a sexta), 6 dias na semana (incluindo sábado) ou 7 dias na semana (incluindo domingo). A Figura 5 apresenta a proporção dessa variável no estoque analisado. Percebe-se que a maior parte das edificações do estoque opera seis dias na semana (50%) – ou seja, de segunda a sábado, com uma significativa parcela operando também aos domingos (40%).

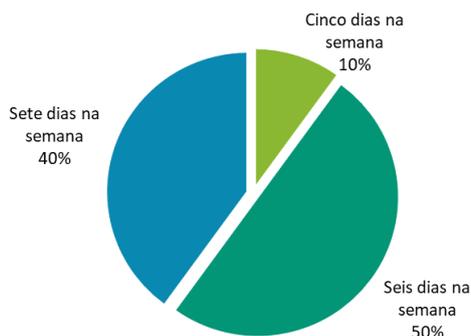


Figura 5 – Proporção do estoque em relação aos dias de operação.

A Figura 6 apresenta a proporção de edificações do estoque que é composta por um edifício ou mais de um edifício e a proporção da divisão do espaço interno.

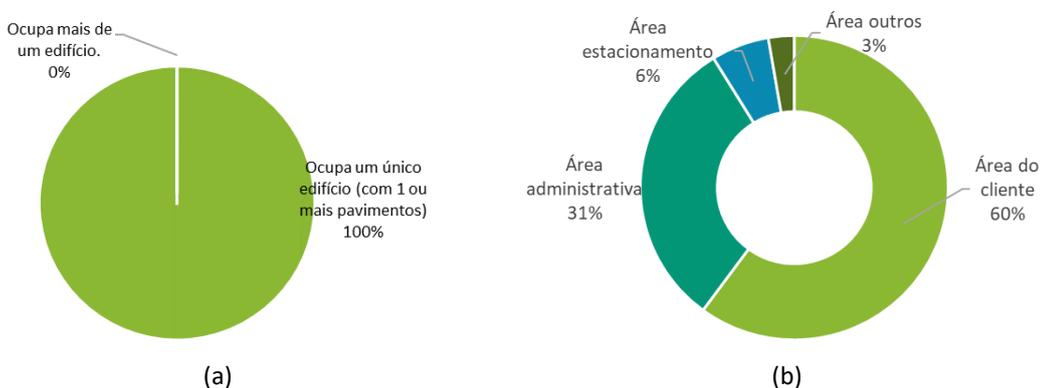


Figura 6 – Proporção do estoque em relação (a) número de blocos e (b) divisão de uso do espaço interno

A totalidade das edificações analisadas para a tipologia de **Comércio de Varejo de Grande Porte** é composta por um único bloco, sendo que a maior parte da área da edificação é voltada para o atendimento de clientes (60%). E em seguida, a área administrativa é a mais significativa dentre os ambientes internos (31%).

A Figura 7 apresenta a proporção de edificações em relação ao número de pavimentos, sendo o valor mais frequente edificações de um pavimento.

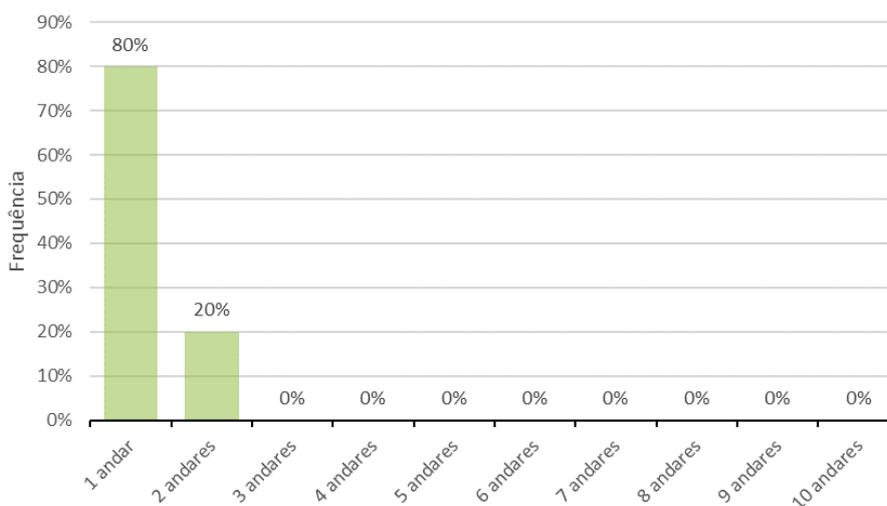


Figura 7 – Histograma do número de pavimentos das edificações

Portanto, a partir das proporções de ocupação, número de pavimentos e área identificados no estoque, pode-se dizer que uma edificação típica da tipologia de **Comércio de Varejo de Grande Porte** é uma edificação de um pavimento, bloco único, de aproximadamente 1.571m², ocupação média de 60 funcionários e funcionamento durante seis dias da semana.

CARGAS ESPECIAIS

Poucas edificações do banco de dados analisado da tipologia de **Comércio de Varejo de Grande Porte** apresentaram cargas especiais. Onze edificações reportaram elevadores como cargas especiais, representando cerca de 1% do estoque total, mas não foram disponibilizadas informações sobre uso ou potência instalada desses equipamentos.

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

INTENSIDADE DE USO DE ENERGIA (EUI)

O EUI médio para a tipologia de **Comércio de Varejo de Grande Porte** na amostra analisada foi de 102,2 kWh/m²/ano, com mediana 96,0 kWh/m²/ano e desvio padrão de 50,08 kWh/m²/ano. A Figura 8 apresenta uma análise da distribuição desta variável neste caso. A grande parte dos dados (57%) está centrada em consumo de 51 a 150 kWh/m²/ano.

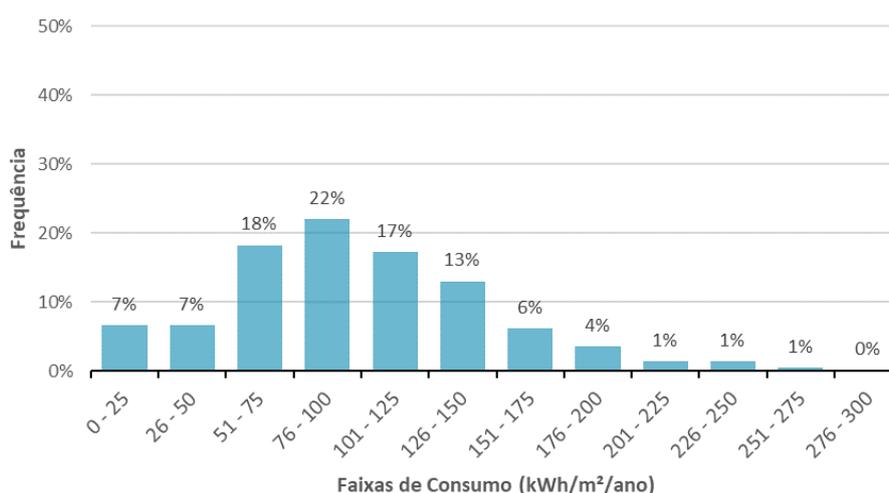


Figura 8 – Histograma da variável EUI

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 $2,81 \times 10^{-8}$ (rejeitando-se a hipótese da normalidade). Porém, é possível observar que a variável segue uma distribuição que se assemelha à log-normal.

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.

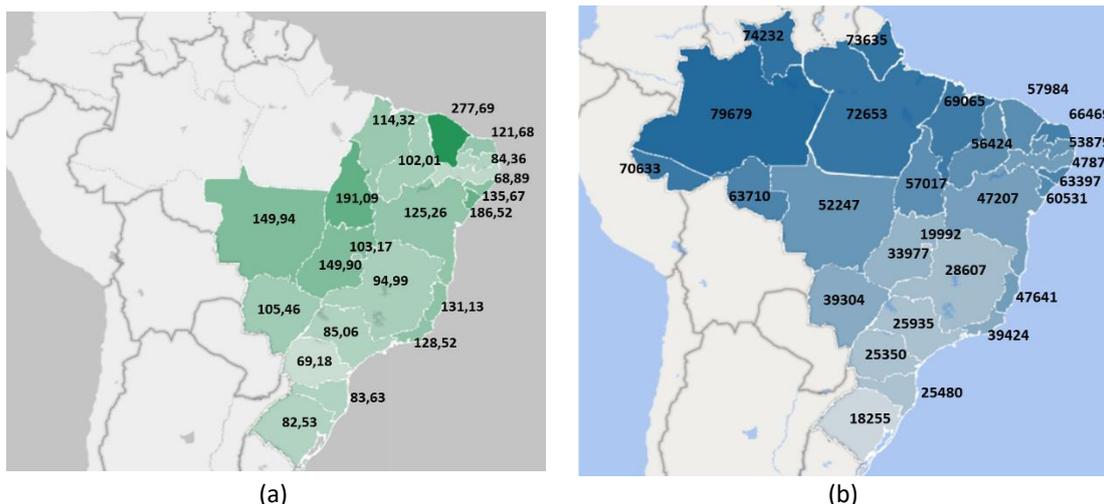


Figura 9 – Comparação entre (a) Média de EUI da amostra e (b) Média de GHR, por estado da federação brasileira.

A Figura 9 evidencia que os estados com maior GHR apresentaram maior EUI médio, o que pode significar que o uso dos equipamentos de condicionamento de ar é influenciado diretamente pelas condições climáticas. É possível verificar que em estados com expressivo alto GHR, como Ceará, Tocantins e Alagoas e Sergipe foram os que apresentaram maior EUI também.

ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

O padrão de uso da iluminação artificial é um aspecto importante para caracterização do perfil de consumo das edificações de maneira geral, incluindo a tipologia de **Comércio de Varejo de Grande Porte**. No banco de dados do Projeto META há informações sobre o padrão de uso da iluminação artificial em relação à disponibilidade de luz natural externa (Figura 10).

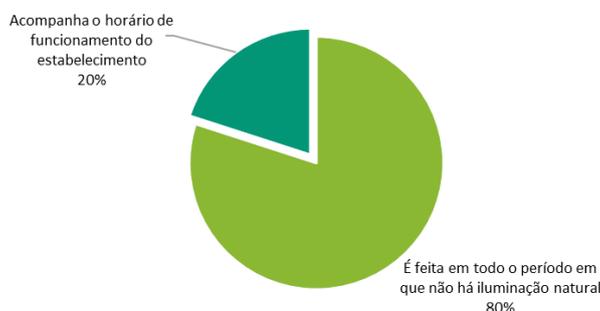


Figura 10 – Padrão de aproveitamento da iluminação natural

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 80% das edificações reportaram utilizar iluminação artificial apenas quando não há iluminação natural disponível. Já 20% respondeu 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 da tipologia de **Comércio de Varejo de Grande Porte**.

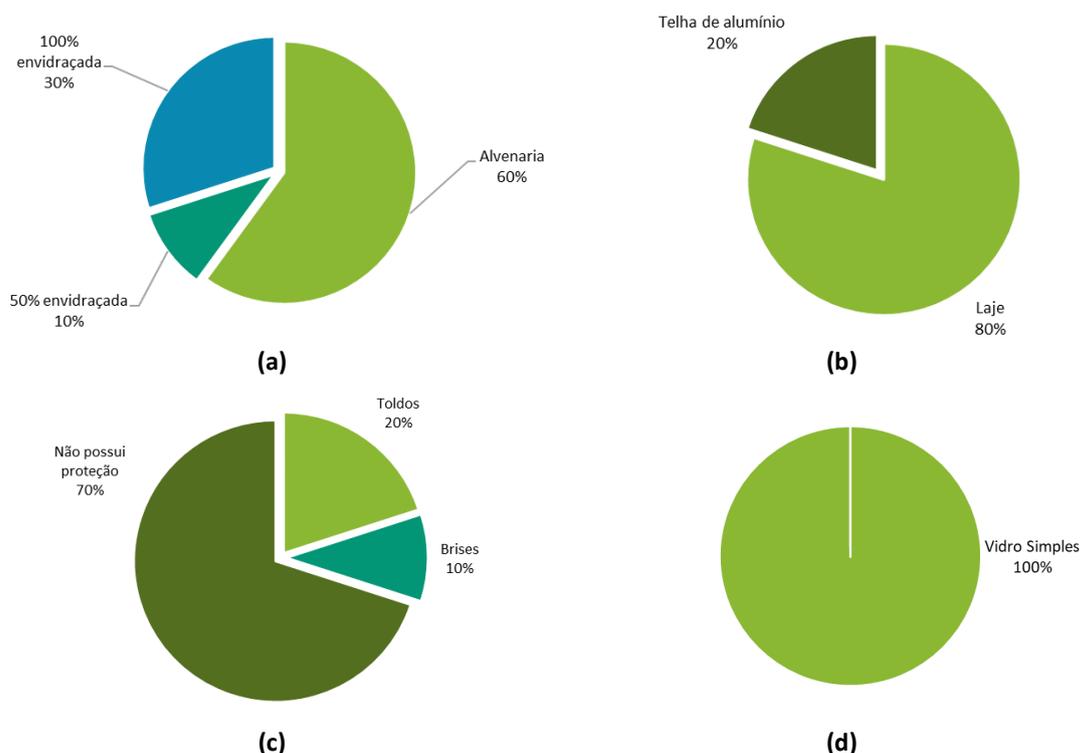


Figura 11 – Características construtivas típicas do estoque – Composição das (a) fachadas, (b) coberturas, (c) sombreamento das fachadas e (d) vidros externos.

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 tem fachada de alvenaria (60%), cobertura com laje (80%) e não possuem elementos de sombreamento (70%). Em relação ao tipo de vidro, todas das edificações da amostra apresentaram esquadrias compostas por vidros simples incolores.

4. AUDITORIAS ENERGÉTICAS

CARACTERÍSTICAS GERAIS

As cinco auditorias energéticas descritas a seguir foram realizadas a partir de visitas *in loco* em cinco 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
Número de Pavimentos	2	3	3	1	3
Município	São Paulo	São Paulo	Sorocaba	Aparecida de Goiânia	São Paulo
Estado	SP	SP	SP	GO	SP
Pé-Direito¹ [m]	2,9	3	3	4,2	2,8
Perfil de ocupação²	Monousoário	Monousoário	Monousoário	Monousoário	Monousoário
Dias de ocupação semanal	6	6	6	7	6
Área construída [m²]	779,38	4.612,03	4.921,07	746,53	1.755,04
Área Útil³ [m²]	779,38	3.081,00	4.921,07	732,16	694,15
Área Privativa⁴ [m²]	146,63	678,34	1.467,84	129,87	104,64
Área Comum⁵ [m²]	632,75	2.402,44	3.453,23	602,28	589,51
Área técnica [m²]	0,00	1.531,25	0,00	14,38	1.060,89
Quantidade de funcionários [pessoas]	33	75	102	17	12
Taxa de Ocupação⁶	93%	94%	92%	74%	95%
Densidade de Potência de Iluminação [kWh/m²]	18,33	13,29	3,93	3,38	5,22
EUI real [kWh/m²/ano]	147,96	133,12	98,78	126,49	133,73

¹ Medida de Piso a forro;

² Monousoário - Único Locatário; Multiusoário - 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 funcionários e clientes e a área total;

Nota: N/D = não disponível.

Nota-se que o EUI real – isto é, o que foi realmente medido – das edificações auditadas variou de 98,78 a 147,96 kWh/m²/ano. O EUI médio foi de 128,02 kWh/m²/ano. Este valor contrastou com o EUI médio identificado na análise do estoque, de 102,2 kWh/m²/ano, apresentando uma diferença de 25% a mais. Porém, pode-se dizer que as edificações estão dentro da faixa de valores dos quartis, observada na análise do banco de dados dos estoques desta tipologia. De fato, quando o histograma de EUI do estoque é analisado, percebe-se que 52% das edificações do estoque apresentam EUI de 75 até 150 kWh/m²/ano, similar ao observado nas edificações auditadas.

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 do tipo <i>Split Cassete On/Off</i> nas áreas de atendimento ao público.
Iluminação	Luminárias com duas lâmpadas tubulares tipo T8 Fluorescente de 32 W (64 W/luminária); Lâmpadas HO LED e fluorescentes compactas.
Aquecimento de água	Não observado.
Cargas de tomadas	Um computador por funcionário; televisores, bebedouros; copas com geladeira, micro-ondas e cafeteira.
Cargas específicas	Não observado.
CPDs	Presença de equipamentos do tipo <i>rack</i> para composição da rede lógica interna da edificação, com potências menores e de <i>nobreaks</i> com fonte de alimentação ininterrupta – UPS.
Gerador	Não observado.

As cinco edificações possuem formatos retangulares, pé direito médio de 3,18m e perfil de ocupação monousuário. As edificações auditadas apresentaram variação de quantidade de pavimentos, em contraste do que foi observado na análise do estoque do projeto META, com predominância de edificações térreas e até dois pavimentos.

De modo geral, as edificações desta tipologia apresentam partido arquitetônico similar, consistindo de presença de espaços funcionais parecidos, como: áreas comuns (área de atendimento e vendas); áreas privativas (salas administrativas) e poucas áreas técnicas (manutenção e depósito).

Dentre as edificações auditadas, a área construída média é de 2.562,81 m², com área útil média de 81% desse valor. A área construída média observada na análise do banco de dados foi de 1.571,6m², 38% menor do que a área construída média das edificações auditadas. Proporcionalmente, em média, tem-se 64% de área comum, 17% de área privativa e 19% de área técnica. A Figura 12 apresenta a proporção das áreas comuns, privativas e técnicas de cada edificação auditada.

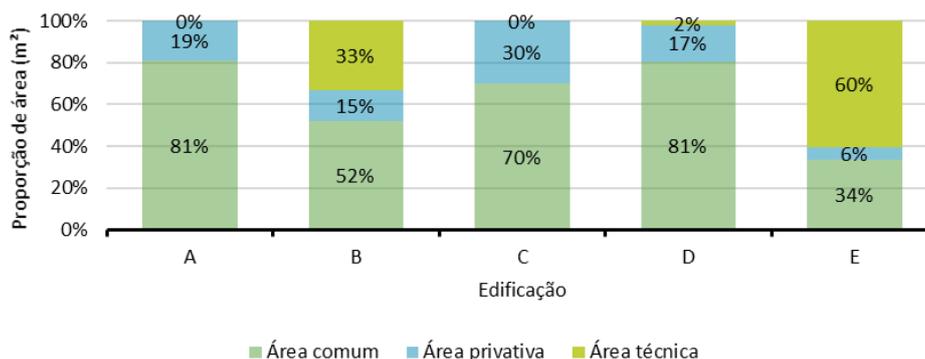


Figura 12 - Proporção dos tipos de áreas das edificações auditadas

OCUPAÇÃO

Quatro edificações têm funcionamento em seis dias da semana, e uma em sete dias da semana, similar ao que foi constatado na análise do estoque. A quantidade de dias de funcionamento semanal é uma variável importante para a tipologia de **Comércio de Varejo de Grande Porte**, uma vez que determina diretamente o consumo de energia.

A quantidade média de funcionários das edificações auditadas foi de 48 pessoas, em contraste com a média de 61 funcionários por edificação, conforme reportado na análise do banco de dados do estoque. A relação entre área total e áreas efetivamente ocupadas das edificações auditadas variou pouco, ficando entre 74% e 95% (Figura 13).

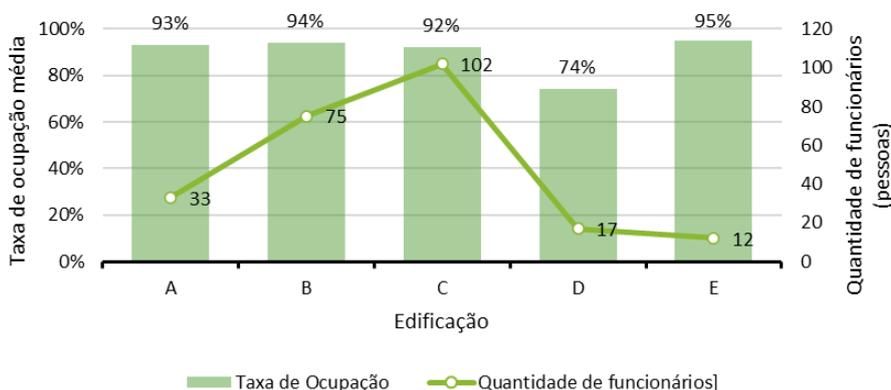


Figura 13 – Taxa de Ocupação e quantidade de funcionários das edificações auditadas

Considerando a quantidade de funcionários como variável de ocupação e a área construída média, a densidade de ocupação média das edificações auditadas foi de 42 m² por pessoa, enquanto a densidade de ocupação média obtida pela análise do banco de dados foi de 25 m² por pessoa.

CARGAS ESPECIAIS

Para a tipologia de **Comércio de Varejo de Grande Porte**, observou-se como cargas especiais a presença de equipamentos de *data center* para composição da rede lógica interna da edificação. Estes equipamentos são principalmente *racks* e *no-breaks* locados em ambientes administrativos. A Figura 14 apresenta o consumo desses equipamentos no impacto do consumo total das edificações auditadas.

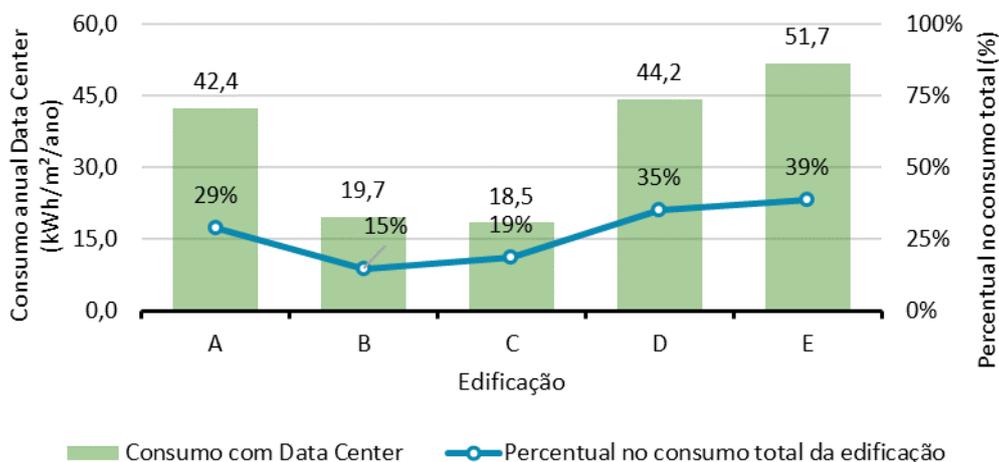
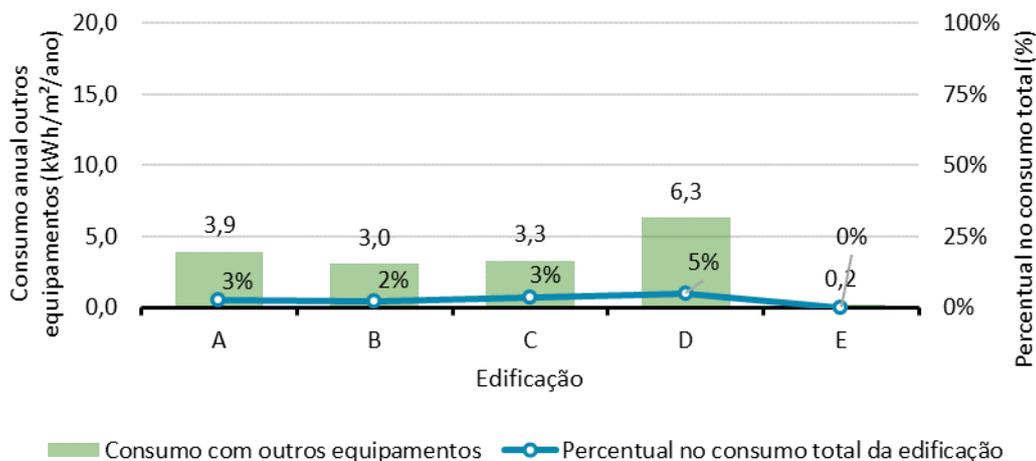


Figura 14 – Proporção do consumo por equipamentos de CPD em relação ao consumo total das edificações auditadas

A média de consumo com *racks* e *no-breaks* foi de 35,30 kWh/m²/ano, representando em média 28% do consumo total da edificação. Pode-se perceber que o impacto desses equipamentos é significativo no consumo total para esta tipologia.

Além disso, foi observada a presença de outros equipamentos diversos, como equipamentos pertinentes ao tipo de comércio que a edificação é voltada. Esses equipamentos foram classificados como “outros equipamentos”, e representaram uma parcela pequena do consumo total as edificações.



A

Figura 15 apresenta o consumo de outros equipamentos e sua proporção no consumo total de cada edificação.

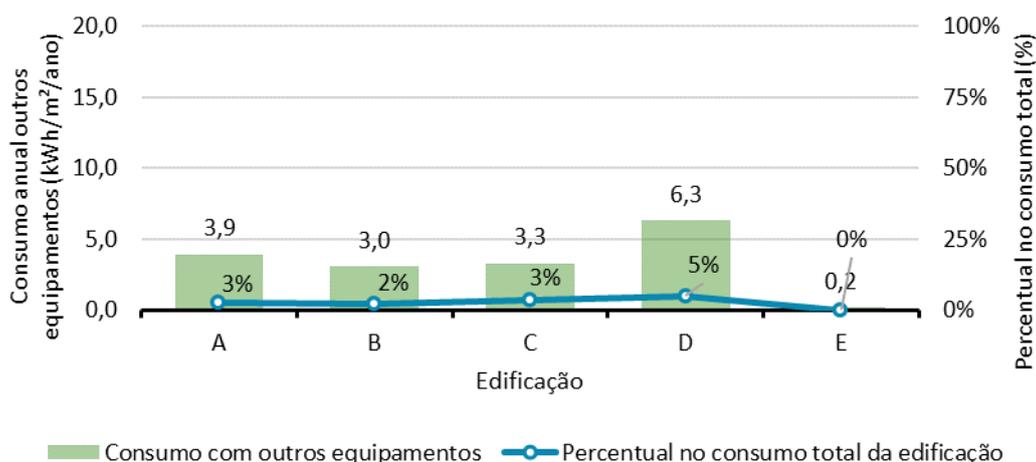


Figura 15 – Proporção do consumo de outros equipamentos em relação ao consumo total das edificações auditadas

CONDICIONAMENTO DE AR

Em termos de equipamentos de condicionamento de ar para a tipologia de **Comércio de Varejo de Grande Porte**, a densidade de refrigeração média das edificações auditadas foi de 171,32 BTU/h/m², considerando a área condicionada total. A Tabela 5 apresenta a síntese da potência dos sistemas de condicionamento de ar para as 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	- Ambiente da loja	270.000
B	Split Cassete	- Ambiente da loja	1.447.000
	Split On/Off	- Estoque	
C	Split Inverter	- Salas Administrativas	3.363.000
	Split Cassete	- Ambiente da loja	
D	Split Inverter	- Salas Administrativas, Depósito	390.000
	Split Cassete	- Ambiente da loja	
E	Split On/Off	- Ambiente da loja	360.000

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. A Figura 16 apresenta os resultados dessa estimativa e o quanto o consumo com sistemas de condicionamento de ar representam no consumo total de cada edificação.

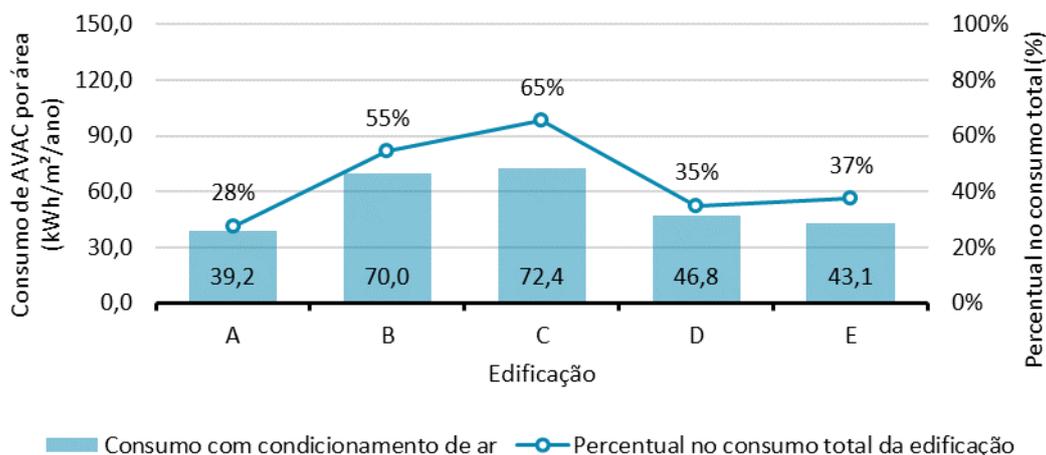


Figura 16 - Proporção do consumo dos sistemas de condicionamento de ar em relação ao consumo total das edificações auditadas

Percebe-se que o condicionamento de ar é uma parcela expressiva no consumo total edificação, variando de 26 a 73% nas edificações auditadas. As auditorias evidenciaram que não é comum a presença de um sistema central de ar condicionado. Majoritariamente, as edificações auditadas apresentaram sistema do tipo individualizados *splits* e *cassete*.

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 17 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.

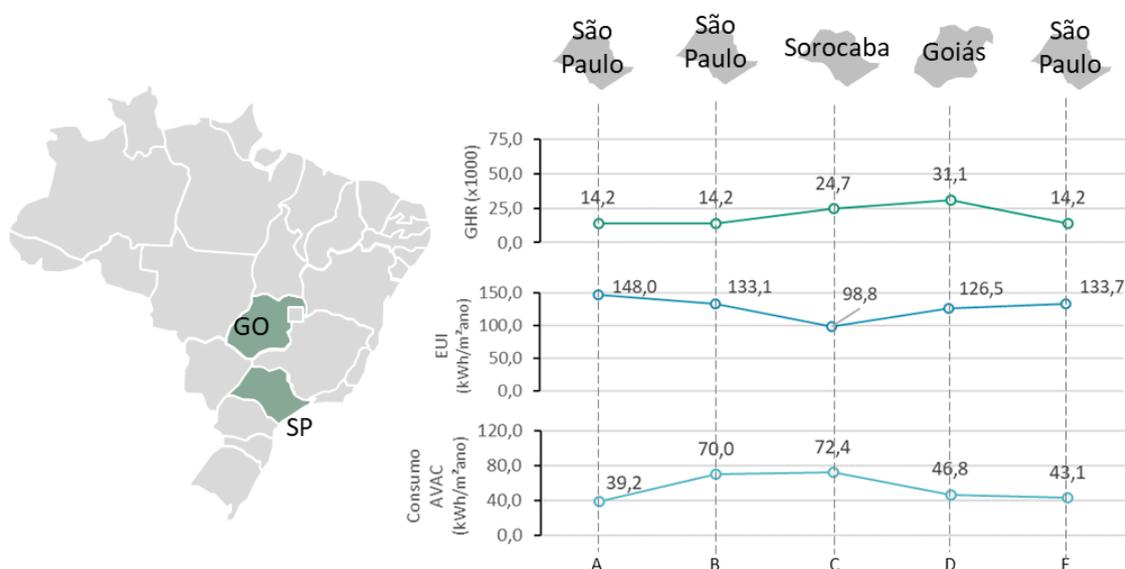


Figura 17 – Relação entre consumo do AVAC, EUI e GHR das regiões onde estão inseridas as edificações auditadas.

A variação de GHR não acompanhou a variação de consumo com condicionamento de ar ou EUI das edificações. Dessa forma, neste cenário, esta análise não é capaz de trazer maiores correlações.

ILUMINAÇÃO

Com relação ao sistema de iluminação da tipologia de **Comércio de Varejo de Grande Porte**, verificou-se majoritariamente o uso de lâmpadas com dois diferentes tipos de luminárias: lâmpadas do tipo

fluorescentes T8 em luminárias duplas e lâmpadas do tipo HO Fluorescentes. Algumas poucas lâmpadas, do tipo LED compacta, também foram identificadas. A Figura 18 apresenta o consumo com iluminação e a proporção do seu respectivo consumo no consumo total da edificação.

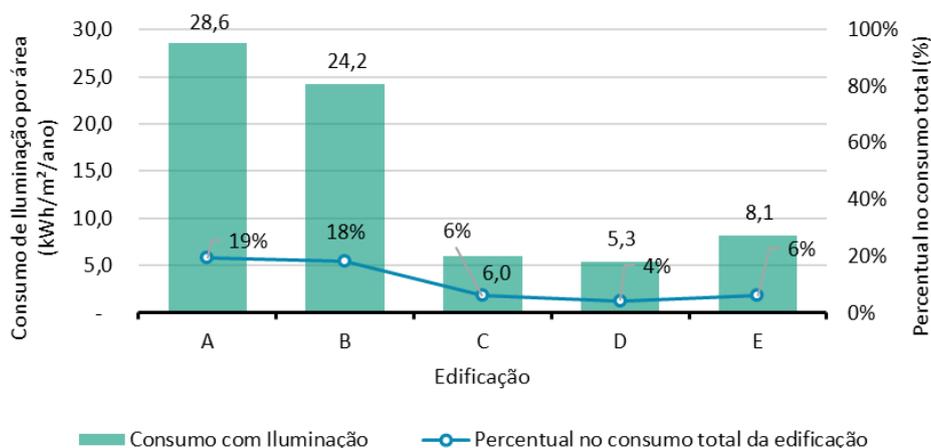


Figura 18 – Proporção do consumo de iluminação nas edificações auditadas

Há uma variação considerável entre os consumos por área com iluminação, variando de 5,3 a 28,6 kWh/m²/ano. Destacam-se as edificações “A” e “B” por apresentarem consumos maiores e as demais tem consumos similares. Este uso final representou de 4 a 19% do consumo total das edificações.

CARGAS DE TOMADA

Em relação às cargas de tomada na tipologia de **Comércio de Varejo de Grande Porte**, das edificações auditadas, estimou-se o consumo com cargas de tomada com base na quantidade de computadores e similares que foram registrados no levantamento de dados. A Figura 19 apresenta o consumo com cargas de tomada e a proporção desse uso final no consumo total de cada edificação.

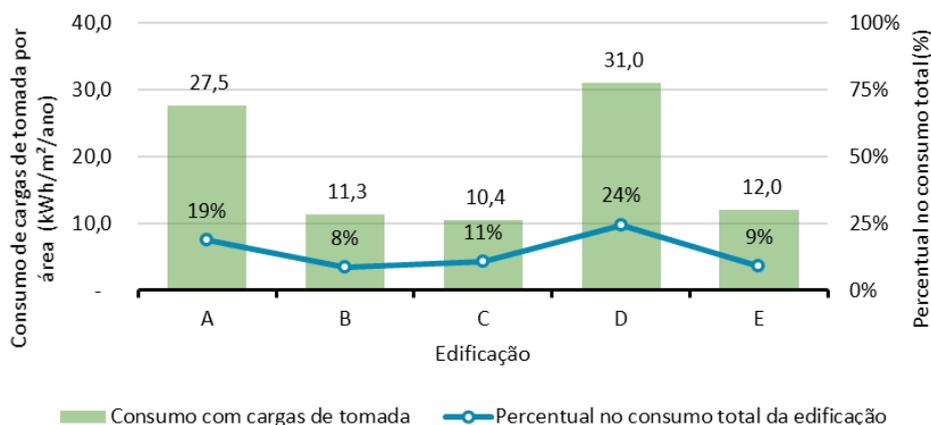


Figura 19 – Proporção do consumo de energia para cargas de tomada para as edificações auditadas.

É possível perceber que a proporção das cargas de tomada no consumo total da edificação apresentou variação significativa entre edificações, variando de 8% a 24% do consumo total das edificações. Em média, pode-se dizer que as cargas de tomada representam cerca de 16% do consumo total anual de uma edificação para essa tipologia (18,4 kWh/m²/ano).

ANÁLISE DOS USOS FINAIS

A Figura 20 apresenta a síntese dos consumos anuais por área construída dos principais sistemas das edificações da tipologia de **Comércio de Varejo de Grande Porte** auditados e calculados por meio da planilha de auditoria energética CBCS-DEO.

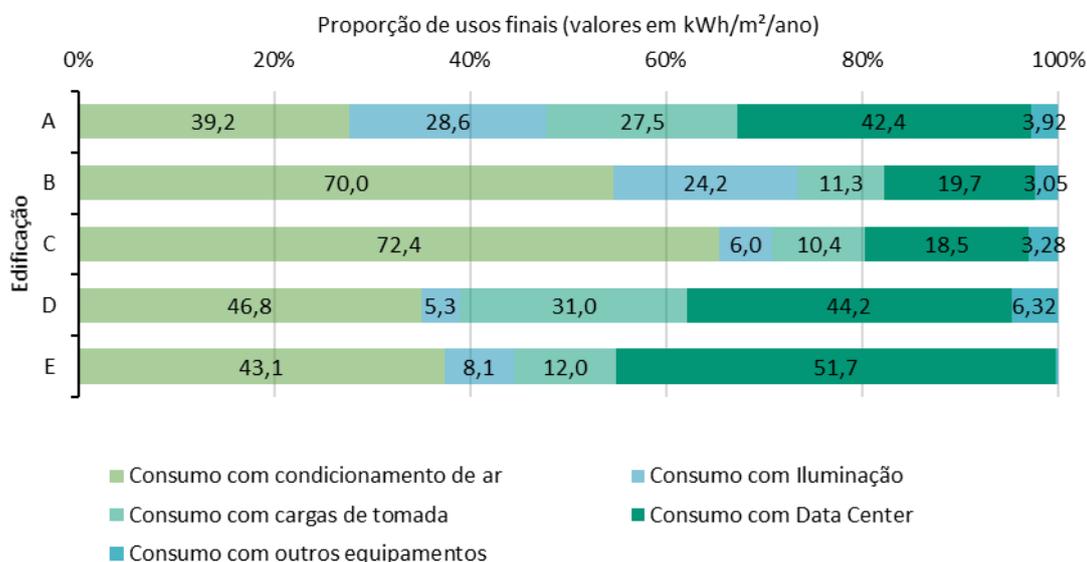


Figura 20 – Proporção e valores dos usos finais por área construída das edificações auditadas

É possível perceber que o consumo com sistemas de condicionamento de ar é o uso final com maior importância em quase todas as edificações. A média da proporção do ar condicionado foi de 44% (54,3 kWh/m²/ano). Em segundo lugar, o consumo com Data Center foi o mais expressivo, chegando a 22% do consumo médio das edificações auditadas (24,9 kWh/m²/ano) e chegando a ser o principal uso na edificação E, representando 45% de seu consumo total estimado. O consumo com carga de tomadas representou 16% do consumo total (18,4 kWh/m²/ano) e o consumo com iluminação representou 13% (14,4 kWh/m²/ano). Em média, o EUI estimado pela planilha CBCS-DEO desta tipologia foi de 115,4 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.047, 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	1 a 2	1 a 3	1
Subsolos	0	0	0
Pé-Direito[m]*	-	3,18	4,00
Formato	-	Retangular	Retangular
Sombreamento	-	Sem sombreamento	Sem Sombreamento
Perfil de Ocupação	Monousuário	Monousuário	Monousuário
Turnos	6 dias na semana	6 dias na semana	7 dias na semana
Área Construída [m ²]	Média= 1.571,60	2.562,81	2.000
	Mediana = 1.444,90		
Área Privativa [%]	-	17%	8,5%
Área Comum [%]	-	64%	66%
Área Técnica [%]	-	19%	25,5%
Ocupação [m ² por pessoa]	25 m ² por pessoa	42 m ² por pessoa	6,67 m ² por pessoa

* Medida de Piso a forro;

**Medida de piso a piso.

O modelo do arquétipo do CBCS foi constituído por uma edificação de um pavimento, com volumetria retangular e pé-direito de 4,0 m. As dimensões do modelo são 50 m x 40 m x 4 m (L x C x A), totalizando 2.000 m². A edificação é do tipo monousuário, com quatro zonas térmicas para representar a área de vendas, uma zona para e uma área administrativas, uma zona não condicionada para área de funcionários e uma área não condicionada para depósito.

Quanto à ocupação, como notou-se uma significativa variação tanto no estoque quanto nas auditorias, adotou-se, um modelo de ocupação por operação. Assim, a quantidade de pessoas que ocupam a edificação foi adotada como sendo de 15 pessoas a cada 100 m², como recomenda a tabela “Retail Occupancy” da norma “ASHRAE 90.1 – Users Manual”.

Quanto à densidade de cargas de equipamentos de tomada, esta foi definida conforme a “Table 1. Default Tenant Receptacle Load, by Occupancy Type”. Na área de vendas, por exemplo, foram considerados 14,53 W/m² e na área administrativa 16,15W/m².

As propriedades construtivas das paredes foram consideradas como paredes simples ($U_{parede} = 2,50$ W/m²K), e o tipo de vidro foi considerado como vidro simples ($U_{vidro} = 5,6$ W/m²K e fator solar de 0,7).

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

- **Iluminação:** Um cenário com Densidade de Potência de Iluminação (DPI) médio de 13,15 W/m² e outro cenário com DPI médio de 28,96 W/m²;
- **Condição de entorno:** Um cenário com edificação exposta e outro cenário com edificação adiabática, ou seja, dentro de outra;
- **Orientação solar:** Quatro cenários, um para cada uma das orientações Norte, Sul, Leste e Oeste;
- **Tipo de cobertura:** Um cenário considerando coberturas mais eficientes ($U_{cobertura} = 0,58 \text{ W/m}^2\text{K}$) e outro cenário considerando coberturas menos eficientes ($U_{cobertura} = 4,48 \text{ W/m}^2\text{K}$);
- **Absortância solar da envoltória:** Um cenário considerando cores mais escuras (absortância = 0,7) e outro cenário considerando cores mais claras (absortância = 0,3);
- **Tipo de sistema de condicionamento de ar:** Três cenários, sendo um com sistema tipo *Rooftop* VAC, outro cenário com sistema tipo *Rooftop* VAV e outro cenário com sistema tipo *Chiller* a ar VAV;
- **Renovação de ar:** Um cenário com renovação de ar nível 3 da ABNT NBR 16401-3 e outro cenário com renovação de ar nível 1 da referida norma.

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.

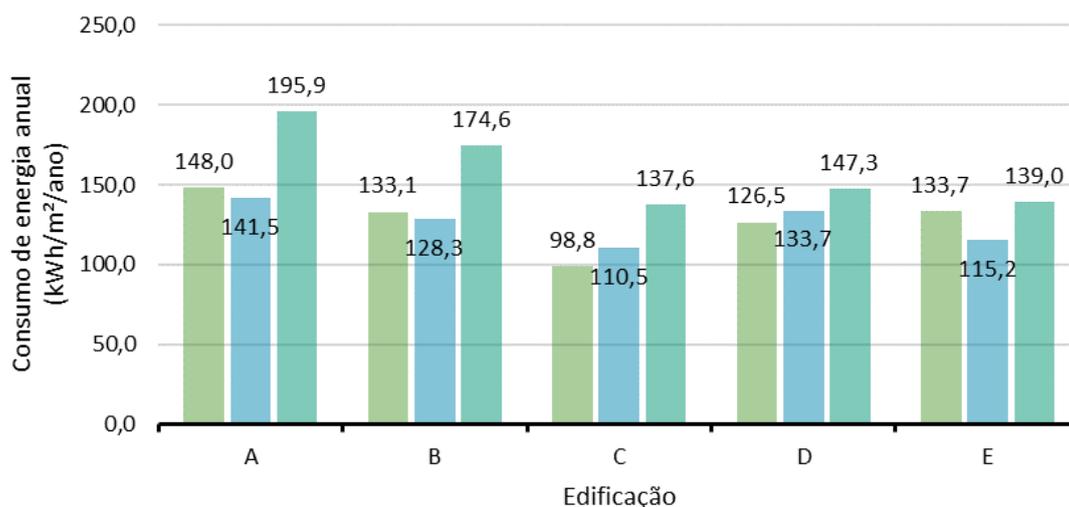
O método de estimativa de consumo energético proposto pela planilha CBCS-DEO leva em consideração as potências, a operação e o fator de uso de cada equipamento presente na edificação. Já a estimativa pela equação de *benchmark* é obtida por meio da aplicação de regressão múltipla, calculada a partir 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 auditorias realizadas nas equações propostas para a tipologia de **Comércio de Varejo de Grande Porte**, detalhadas no relatório **RT2B.07**, de acordo com limites do GHR. Neste caso, utilizou-se apenas uma das equações, a para cidades com GHR acima de 54.000, uma vez que todas as edificações se encontram em localidades com essa característica.

As equações, de modo geral, consideram as seguintes variáveis independentes:

- a) GHR – Graus-hora de resfriamento da cidade onde se localiza a edificação;
- b) GDA – Graus-dia de aquecimento da cidade onde se localiza a edificação;
- c) AVAC – Tipo de sistema de condicionamento de ar (1 - *Rooftop* VAV, 2 - *Chiller* VAV (2), 3 - *Rooftop* VAC);
- d) ILUM – Densidade de potência de iluminação instalada (W/m²);
- e) COBE – Tipo de cobertura (0,58 W/m².K – Telha Sanduíche, 4, 48 W/m².K – Laje Concreto);
- f) ENTO – Condição de entorno (0 – adiabático; 1 - exposto);
- g) ASOL – Absortância da envoltória (Cor clara - 0,3; cor escura - 0,7);
- h) RENO – Renovação de ar (1 – conforme nível 3 da NBR 16.401; 2 – conforme nível 1 da mesma norma).

A Figura 21 apresenta a comparação do consumo real das edificações auditadas em relação às estimativas calculadas por meio da planilha de auditoria energética CBCS-DEO e da equação de *benchmark* desta tipologia.



■ Consumo real ■ Consumo anual Estimado Planilha CBCS-DEO ■ Consumo anual Estimado Equação Benchmark

Figura 21 – Comparação do consumo real e consumos estimados pela planilha CBCS-DEO e pela equação de benchmark desta tipologia

A diferença entre o consumo estimado pela planilha CBCS-DEO e o consumo real variou de -6% a 14%. Essas diferenças podem ser consideradas aceitáveis dentro das variações possíveis quando se utiliza uma estimativa para se comparar com a realidade.

Com relação à estimativa pela equação de *benchmark*, o modelo de estimativa se mostrou variando de 4% até 24% em relação ao consumo real. Um dos fatores que podem ter contribuído para esse resultado foi que a equação foi elaborada a partir do arquétipo considerando-se 7 dias semanais de operação. Como foi constatado nas auditorias, apenas a edificação “D” opera 7 dias na semana, que foi o caso em que a estimativa mais se aproximou do consumo real. Além disso, as cargas de tomada das edificações auditadas podem ser diferentes da densidade adotada pelo arquétipo que gerou a equação, causando este desvio no consumo calculado.

Além disso, há uma incerteza inerente do processo de estimativa, que pode acarretar variações expressivas por motivos de diferenças em operação dos sistemas e variações climáticas, especialmente devido ao consumo com sistemas de condicionamento de ar que, como observado na análise dos usos finais, sendo este um uso final expressivo para a tipologia de **Comércio de Varejo de Grande Porte**. Nestes casos, espera-se variações da ordem de até 40%¹ quando estimativas desse tipo são feitas em sistemas simulados de edificações – especialmente quando decorrem do uso de energia para condicionamento de ambientes. 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 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 **Comércio de Varejo de Grande Porte** a partir da análise de dados do estoque de edificações (com 808 dados tratados e 11 dados completos, cobrindo 24 Unidades Federativas brasileiras), e da análise de auditorias energéticas realizadas em cinco edificações em três 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. Já as estimativas realizadas pela equação de *benchmark* apresentaram valores de consumo maiores do que os valores de consumo por metro quadrado reais das edificações avaliadas, com uma diferença média de 34% a mais do que o consumo real da edificação auditada. Supõe-se que a diferença seja devido ao fato do arquétipo simulado considerar um cronograma de operação diferente das edificações auditadas – operando 7 dias na semana, enquanto as edificações operam majoritariamente durante 6 dias na semana. Além disso, variações em estimativas são esperadas, especialmente quando a maior parte do consumo de energia é devido ao condicionamento de ar, que é um uso final dependendo do clima e, consequentemente, sujeito a variações imprevisíveis.