



CBCS

Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

RT2A.06: Relatório de Auditorias Energéticas - Tipologia de Supermercado

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 14/03/2021

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 Supermercado.

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	10
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.....	17
Iluminação.....	18
Cargas de tomada.....	19
Análise dos usos finais.....	20
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 **Figura 1**.

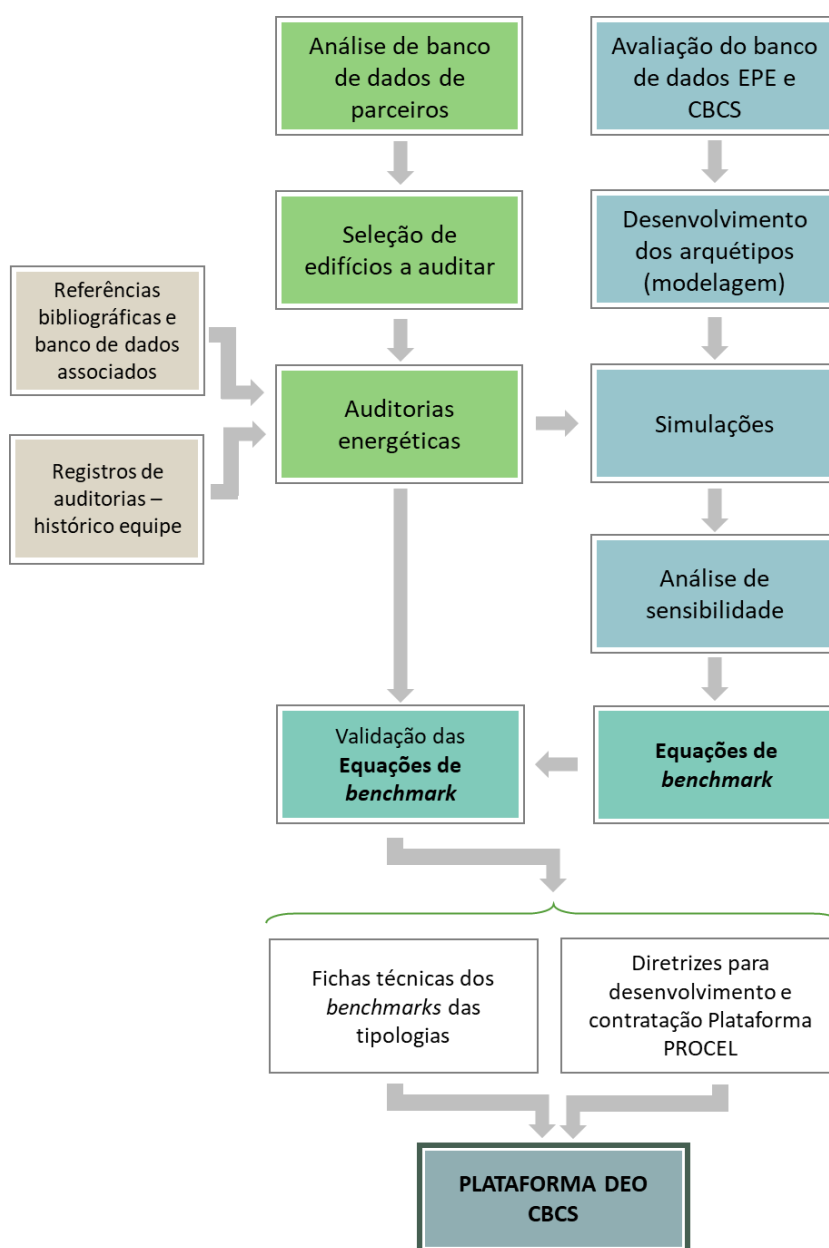


Figura 1 - Método aplicado pelo CBCS para o desenvolvimento dos benchmarks no âmbito deste convênio

2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este relatório apresenta a caracterização da tipologia de **Supermercado** 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 **Supermercado** foi feita com base nas amostras descritas no projeto META. O banco de dados do estoque apresenta informações pertinentes à caracterização construtiva e ao consumo de energia, com dados de edificações em 26 das 27 unidades federativas brasileiras. A amostra é constituída por dados de 400 unidades de edificações. Desta amostra, o estado de São Paulo apresenta dados de 71 unidades, representando aproximadamente 18% do banco de dados, seguido pelo estado do Minas Gerais, com 12% dos dados da amostra.

Filtros para a retirada de valores espúrios de área construída e consumo de energia foram aplicados na amostra bruta e nenhum valor foi considerado espúrio, resultando em 400 dados da amostra tratada. Destas 400 unidades, todas apresentaram informações mais completas, contendo as seguintes variáveis: quantidade de refrigeradores, consumo de gás e número de caixas de atendimento.

Dados de um edifício com auditoria energética realizada a partir da análise de projetos reais e edificados, obtidos de publicação, são analisados e apresentados no capítulo seguinte.

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

Tabela 1 - Resumo dos dados analisados do estoque da tipologia de Supermercado

RESUMO DO BANCO DE DADOS	
Amostra bruta	400 unidades
Amostra tratada (sem valores espúrios)	400 unidades
Amostra selecionada (dados completos)	400 unidades
Unidades Federativas contendo dados	26
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 caixas de atendimento; – Quantidade de refrigeradores; – Consumo de gás.
Auditorias energéticas	1 unidade

CARACTERÍSTICAS GERAIS

A Tabela 2 apresenta as medidas de síntese estatística da amostra para a tipologia de **Supermercado**.

Tabela 2 – Medidas de síntese das variáveis do estoque para a tipologia de Supermercado

VARIÁVEIS	VALOR MÍN.	1º QUARTIL (25%)	MEDIANA	MÉDIA	3º QUARTIL (75%)	VALOR MÁX.
Ano de construção	1950	1982	1995	1991	2002	2014
Número de Funcionários	2	11	18	27	34	180
Número de Funcionários/100 m ²	0,20	2,53	4,86	6,14	6,14	45,33
Número de caixas	1	2	4	6	7	38
Número de Geladeiras e Freezers	2	4	6	8	11	46
Número de caixas /100m ²	0	1	1	1	2	7
Área Total [m ²]	75,0	150,0	350,0	975,1	750,0	10.000,0
EUI [kWh/m ² /ano]	0,5	40,0	111,7	179,8	247,5	951,9

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 179,8 kWh/m²/ano, variando de 40,0 a 247,5 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 975,1 m², mediana de 350,0 m² e desvio de padrão de 1.823,95 m². A Figura 2 apresenta um histograma da área construída desta tipologia. Observa-se que até 66% das unidades têm área construída de até 500 m².

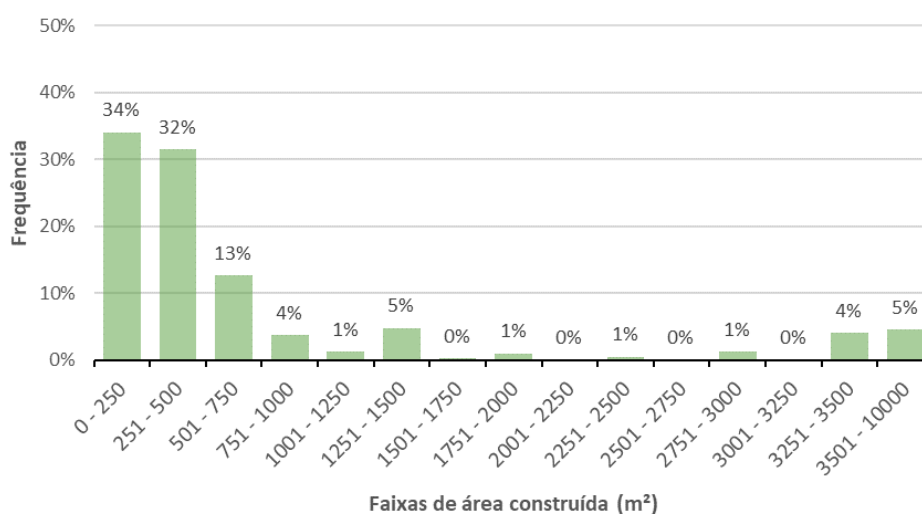


Figura 2 - Histograma da área construída

Além da área construída, algumas características físicas ou de sistemas são determinantes para o consumo de energia. Especificamente para a tipologia de **Supermercado**, o consumo de gás, a quantidade de refrigeradores e a quantidade de caixas 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.

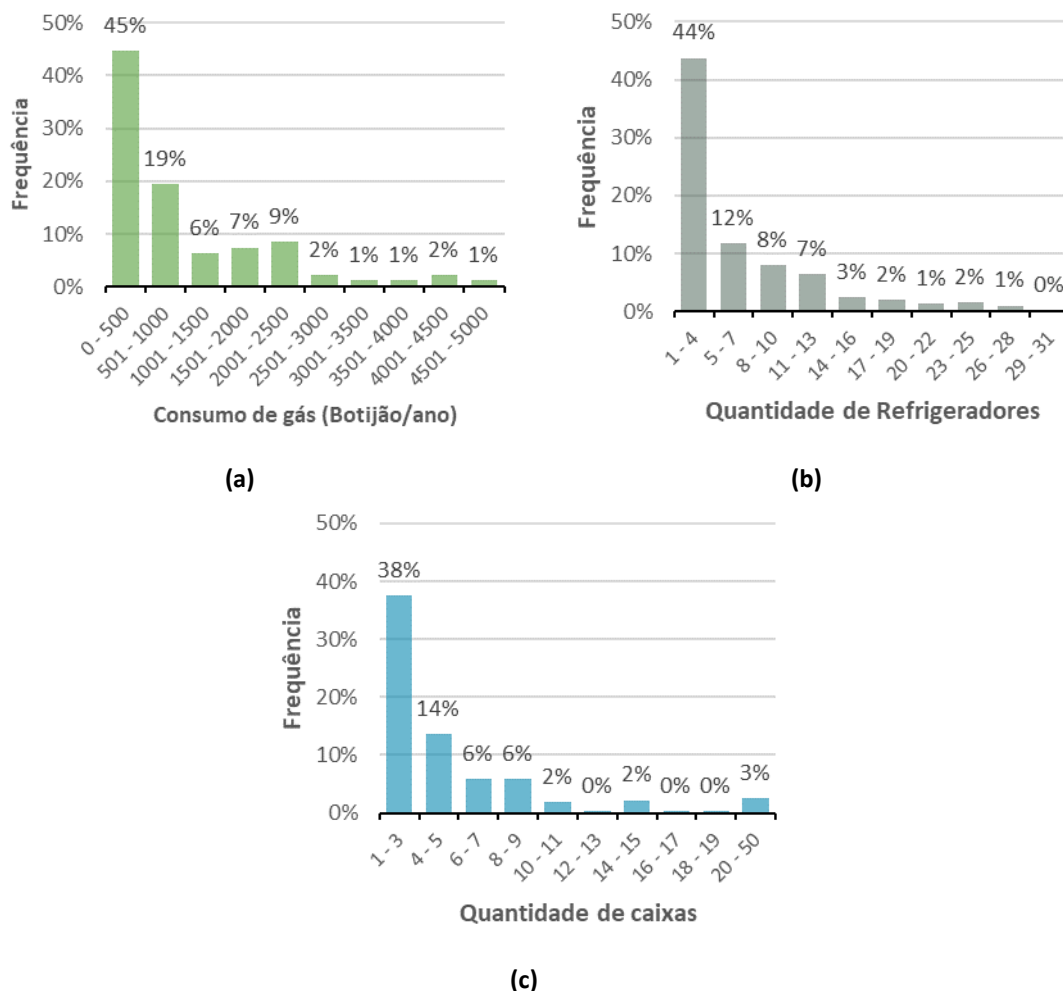


Figura 3 – Histograma das variáveis consideradas mais determinantes em relação ao consumo total por edificação

A Figura 3 revela que para a tipologia de **Supermercado**, o consumo médio anual de gás foi de 944 botijões/ano, com desvio padrão de 3.345 botijões/ano. A maior parte dessas edificações tem um consumo de até 500 botijões/ano. Esse consumo provavelmente é devido ao uso em cozinhas e padarias, que são serviço integrados a esse tipo de edificação.

Com relação aos refrigeradores, nota-se que a maior parte das edificações possui até 4 refrigeradores (44%). Porém, a média é de 8 refrigeradores por edificação. Nesse caso, foram reportados como refrigeradores os equipamentos do tipo *freezers* verticais ou horizontais para depósito e mostruário de itens.

E, com relação à quantidade de caixas de atendimento, a média foi de 6 caixas de atendimento por edificação, com a maior parte das edificações (58%) tendo até 7 caixas.

OCUPAÇÃO

A caracterização da ocupação de edificações da tipologia de **Supermercado** 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.

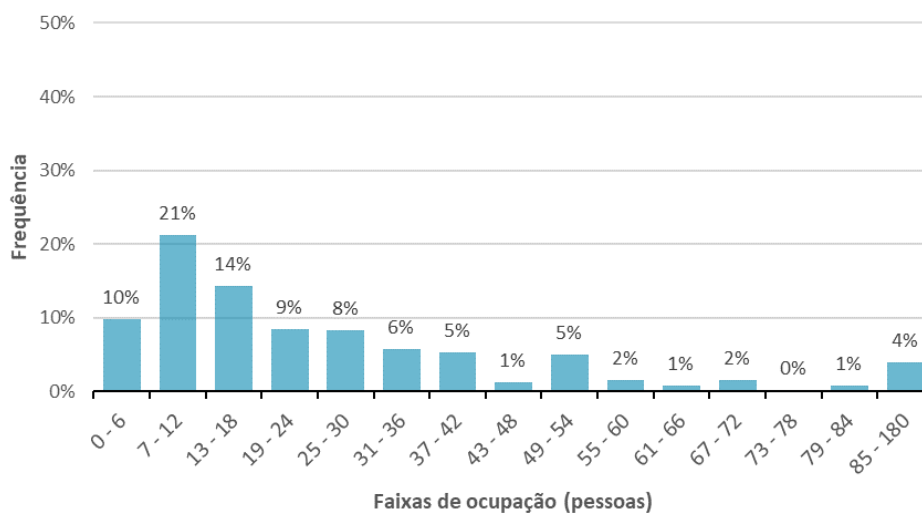


Figura 4 – Histograma da ocupação por funcionários

A Figura 4 informa que a maior parte das edificações têm até 24 funcionários (54%). A quantidade de funcionários média é de 27 pessoas. Considerando-se a área construída média e a quantidade de funcionários média, a densidade de ocupação é de 39,76 m² por pessoa.

Além disso, uma variável determinante para a tipologia de **Supermercado** 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 sete dias na semana.

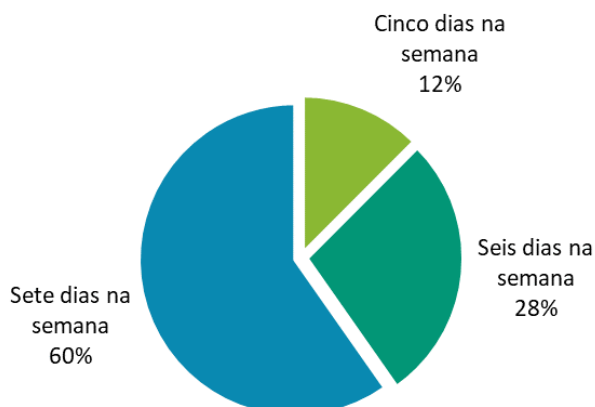


Figura 5 – Proporção do estoque em relação aos dias de operação

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.

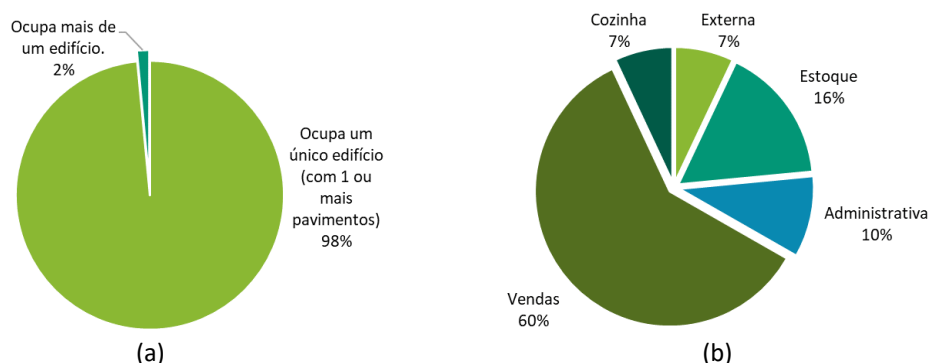


Figura 6 – Proporção do estoque em relação (a) ao número de blocos e (b) divisão dos usos do espaço interno

A quase totalidade das edificações analisadas para a tipologia de **Supermercado** é composta por um único bloco (98%), sendo que a maior parte da área da edificação é voltada para a área de vendas (60%). Todas as edificações reportaram ter apenas um pavimento.

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 **Supermercado** é uma edificação de um pavimento, bloco único, de aproximadamente 975m², com maior porção dedicada à área de vendas, ocupação média de 27 funcionários e funcionamento os sete dias da semana.

CARGAS ESPECIAIS

Para a tipologia de **Supermercado**, poucas edificações do banco de dados do estoque analisado apresentaram cargas especiais. Nenhuma edificação reportou o uso de elevadores, uma vez que todas eram edificações de um único pavimento. No entanto, notou-se a presença significativa de geradores. A Figura 7 apresenta a proporção das edificações que têm gerador e o motivo do seu uso.

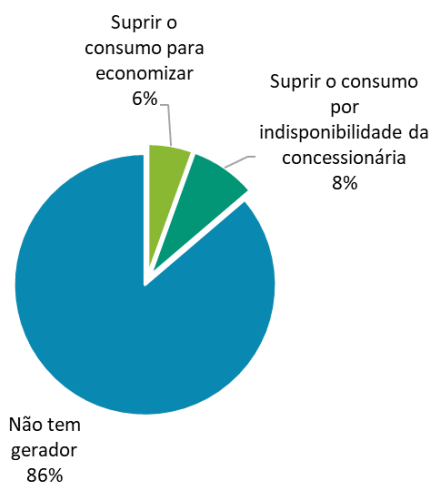


Figura 7 – Proporção do estoque em relação ao uso de geradores

Apesar de serem poucas edificações que possuem o equipamento (14%), é notável que o gerador é utilizado como estratégia tanto para economia de energia quanto para assegurar o funcionamento do estabelecimento em caso de falta de fornecimento pela concessionária.

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 **Supermercado** na amostra analisada foi de 179,8 kWh/m²/ano, com mediana 111,7 kWh/m²/ano e desvio padrão de 195,56 kWh/m²/ano. A Figura 8 apresenta uma análise da distribuição desta variável neste caso. A grande parte dos dados (67%) está centrada em consumo de até 200 kWh/m²/ano.

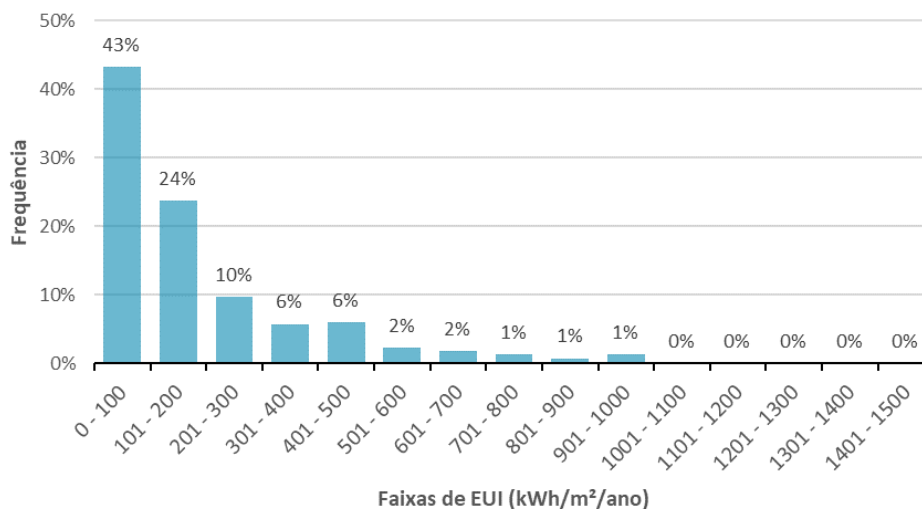


Figura 8 – Histograma da variável EUI

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 2×10^{-16} (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.

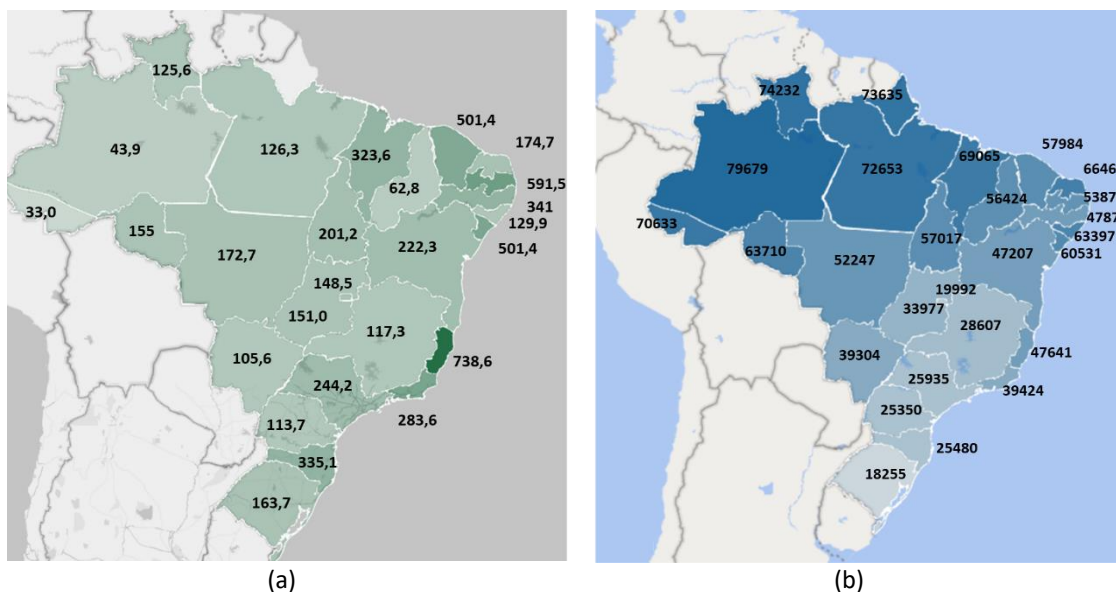


Figura 9 – Comparação entre (a) Média de EUI da amostra e (b) Média de GHR, por estado da federação brasileira.

A Figura 9 evidencia que não necessariamente os estados com maior GHR apresentaram maior EUI médio, o que pode significar que o uso dos equipamentos de condicionamento de ar não necessariamente acompanha as condições climáticas. Por exemplo, estados com alto GHR, como o Amazonas e o Pará, apresentaram baixo EUI.

ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

O padrão de uso da iluminação artificial para a tipologia de **Supermercado** 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).

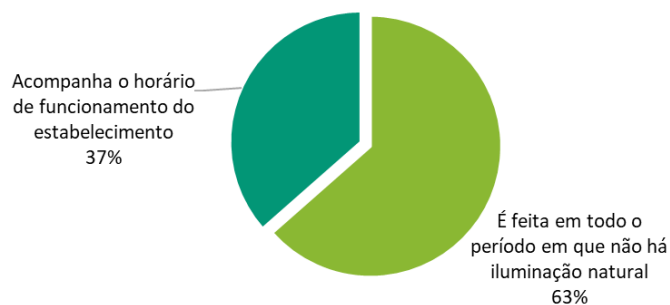


Figura 10 – Padrão de aproveitamento da iluminação natural

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 63% das edificações reportaram utilizar iluminação artificial apenas quando não há iluminação natural disponível. Em seguida, 37% 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

As características construtivas das paredes externas (fachada), 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.

A Figura 11 apresenta as características construtivas típicas da tipologia de **Supermercado**.

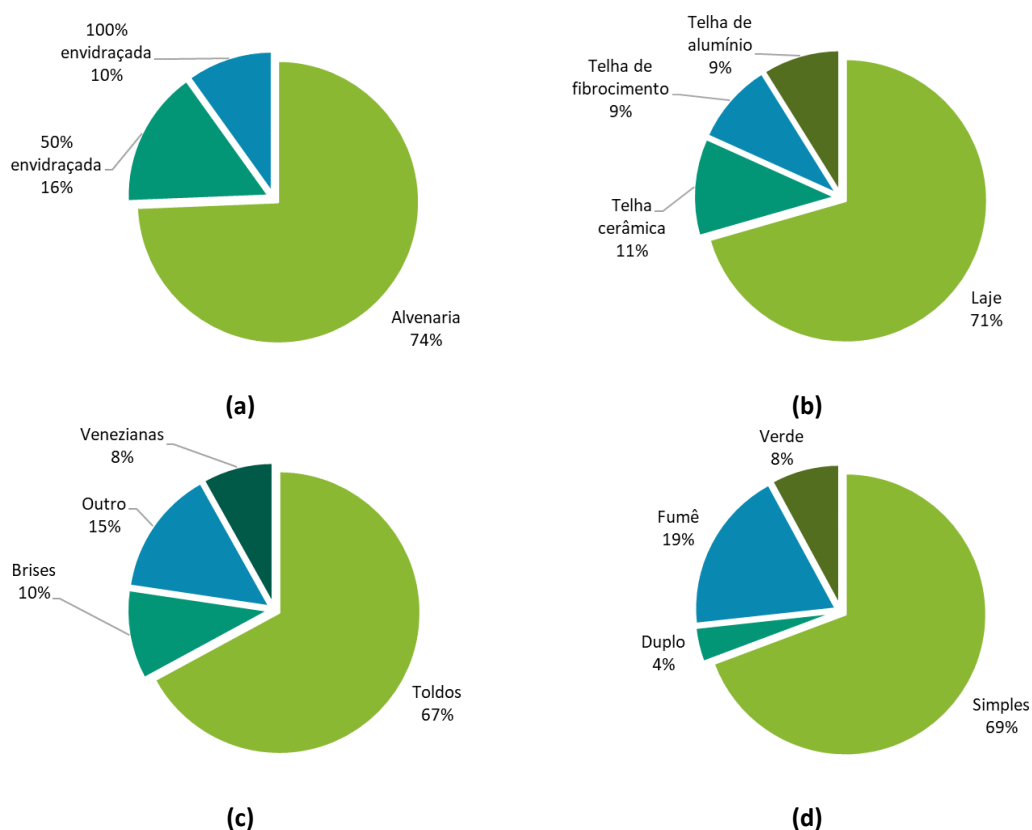


Figura 11 – Características construtivas típicas do estoque – Composição das (a) fachadas, (b) coberturas, (c) sombreamento das fachadas e (d) vidros externos.

Por meio da Figura 11, percebe-se que a maior parte das edificações tem fachada de alvenaria (74%), cobertura com laje (71%), possuem elementos de sombreamento em sua maioria do tipo toldo (67%) e as esquadrias compostas majoritariamente por vidros simples incolor (69%).

4. AUDITORIAS ENERGÉTICAS

CARACTERÍSTICAS GERAIS

A auditoria energética da tipologia de **Supermercado** foi realizada a partir da análise de projetos publicados, de uma edificação real e edificada.

A Tabela 3 apresenta um resumo dos dados principais da edificação analisada.

Tabela 3 – Dados principais da edificação auditada

Edificação	A
Número de Pavimentos	1
Município	Capão da Canoa
Estado	RS
Pé-Direito ¹ [m]	5,5
Perfil de ocupação ²	Monousuário
Dias de ocupação semanal	6
Área construída [m ²]	5.962,94
Área Útil ³ [m ²]	5.880,39
Área Privativa ⁴ [m ²]	1.434,93
Área Comum ⁵ [m ²]	4.445,46
Área técnica [m ²]	82,55
Quantidade de funcionários [pessoas]	396
Taxa de Ocupação ⁶	100%
Densidade de Potência de Iluminação [kWh/m ²]	15,73
EUI real [kWh/m ² /ano]	299,01

¹ Medida de Piso a forro;

² Monousuário - 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 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 – da edificação auditada foi de 299,01 kWh/m²/ano, sendo 66% acima da média observada na análise do banco de dados do estoque. Porém, pode-se dizer que este valor se encontra dentro da faixa de valores encontrada na análise. De

fato, quando o histograma de EUI do estoque é analisado, percebe-se que 10% das edificações do estoque apresentam EUI de 200 até 300 kWh/m²/ano, similar ao observado na edificação auditada.

A Tabela 4 apresenta a síntese dos principais sistemas presentes na edificação auditada.

Tabela 4 – Caracterização dos sistemas da edificação auditada

SISTEMAS	CARACTERÍSTICAS
Fornecimento de energia	Rede aérea de alta tensão, subgrupo A4, modalidade tarifária convencional
AVAC	Sistema do tipo central para salão de vendas e sistemas <i>Split On/Off</i> nas áreas técnica e administrativas.
Iluminação	Luminárias com duas lâmpadas tubulares tipo T8 Fluorescente de 32 W (40 W/luminária); Refletor LED e fluorescentes compactas.
Aquecimento de água	Não observado.
Cargas de tomadas	Computadores para funcionários; televisores, bebedouros e antenas antifurto; copas com geladeira, micro-ondas e cafeteira.
Cargas específicas	Grande quantidade de equipamentos de refrigeração.
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.

A edificação possui formato retangular, com pé direito de 5,5m e perfil de ocupação monousuário, em conformidade com o que foi observado na análise do estoque do projeto META, com predominância de edificações de um pavimento.

O partido arquitetônico consiste em um espaço amplo e único para área de vendas e salas individuais para atividade administrativa, depósito e área técnica.

A área construída constatada foi de 5.962,94 m². A proporção de área privativa média é de 24%, de área comum é de 75% e de área técnica média é de aproximadamente 1% da área útil. A Figura 12 apresenta a proporção das áreas comuns, privativas e técnicas de cada edificação auditada.

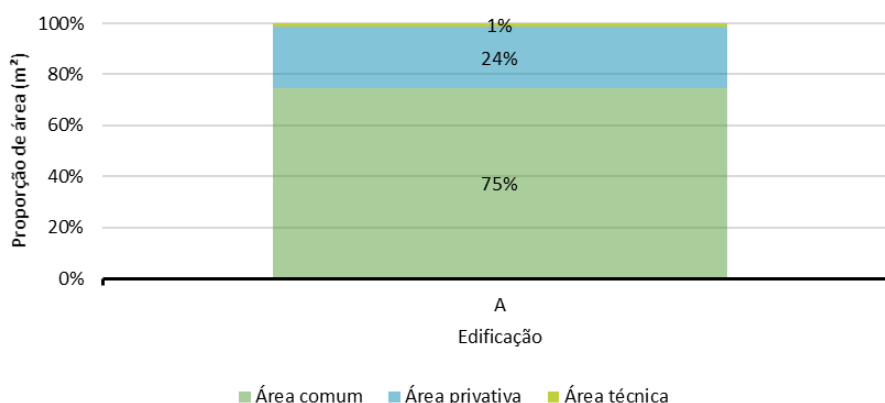


Figura 12 - Proporção dos tipos de áreas da edificação auditada

OCUPAÇÃO

A edificação auditada da tipologia de **Supermercado** tem funcionamento durante seis dias da semana, similar ao que foi constatado na análise do estoque. A quantidade de dias de funcionamento semanal é uma variável importante nesta tipologia, uma vez que é determinante no consumo total de energia.

A quantidade média de funcionários foi de 396 pessoas, em contraste com a média de 27 funcionários por edificação reportada na análise do banco de dados do estoque. Essa diferença pode ser atribuída ao porte da edificação, uma vez que se percebe que a edificação auditada tem área construída muito superior à área construída média obtida na análise do banco de dados do estoque.

A Figura 13 apresenta a relação entre área total e áreas efetivamente ocupadas da edificação.

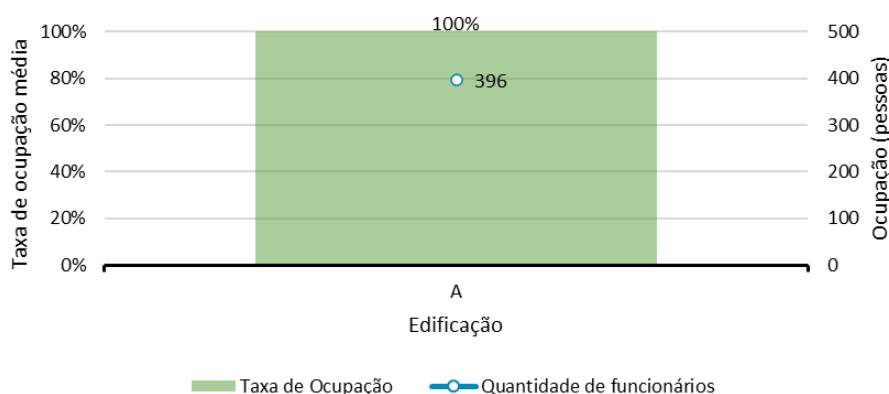


Figura 13 – Taxa de Ocupação e Quantidade de funcionários da edificação auditada.

Considerando a quantidade de funcionários como variável de ocupação, a densidade de ocupação da edificação auditada foi de 15 m² por pessoa.

CARGAS ESPECIAIS

Para a tipologia de **Supermercado**, observou-se como cargas especiais, tanto equipamentos de processamento de dados para composição da rede lógica interna da edificação quanto equipamentos de refrigeração ou manutenção de temperatura de alimentos, este último com alta demanda por energia elétrica.

Em relação aos equipamentos de *data center*, estes são principalmente *racks* e *no-breaks* posicionados em ambientes administrativos. A Figura 14 apresenta o consumo desses equipamentos e o impacto no consumo total da edificação auditada.

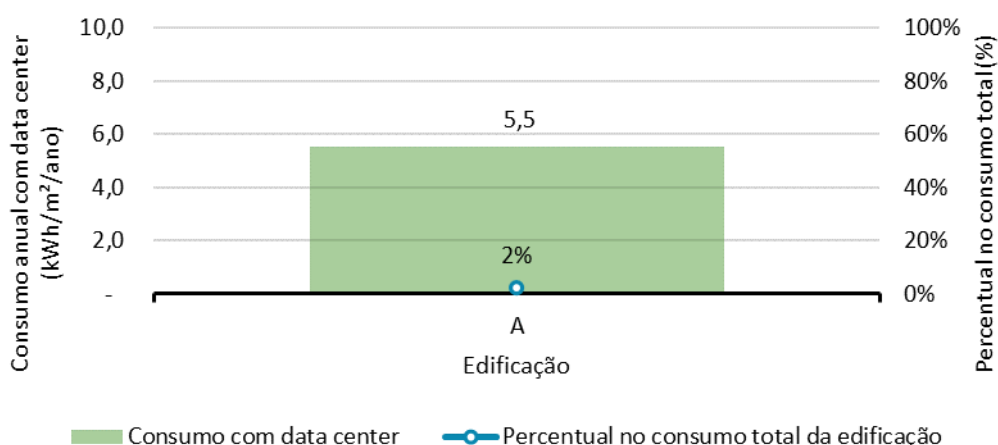


Figura 14 – Proporção do consumo de data center em relação ao consumo total na edificação auditada

A média de consumo com *racks*, *switches* e *no-breaks* foi de 5,5 kWh/m²/ano, representando 2% do consumo total estimado da edificação. Pode-se perceber que o impacto desses equipamentos não é significativo no consumo total para esta tipologia.

Já em relação às demais cargas de tomadas, destinadas aos equipamentos de refrigeração, câmaras aquecidas e resfriadas para padarias e açougue, equipamentos para preparo de alimentos, ilhas refrigeradas e balcões refrigerados, estas foram agrupadas e classificadas como “outros equipamentos”. A Figura 15 apresenta o consumo desses equipamentos e o impacto no consumo total estimado da edificação auditada.

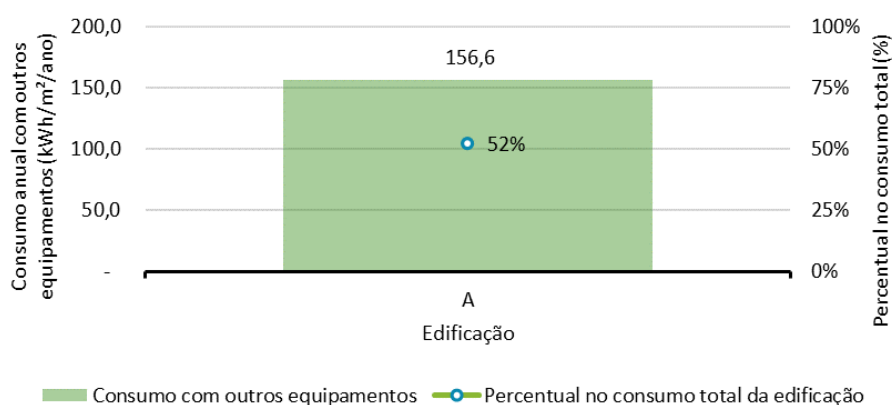


Figura 15 – Proporção do consumo de outros equipamentos em relação ao consumo total na edificação auditada

Pode-se notar que esta categoria representa uma porção muito representativa no consumo total da edificação, consumindo 156,6 kWh/m²/ano, representando 52% do consumo total estimado da edificação.

CONDICIONAMENTO DE AR

Em termos de equipamentos de condicionamento de ar para a tipologia de **Supermercado**, verifica-se que as áreas de atendimento possuem densidade de refrigeração média de 467,94 BTU/h/m². Em relação à útil total, a densidade de refrigeração é de 345,89 BTU/m². A Tabela 5 apresenta a síntese da potência dos sistemas de AVAC para a edificação auditada.

Tabela 5 - Lista de equipamentos do sistema de condicionamento de ar na edificação auditada

Edifício	Tipo de equipamento	Ambiente	Potência [BTU/h]
A	Split On/Off	- Ambiente da loja	1.800.000
	Split Inverter	- Ambientes administrativos	222.000
	Split On/Off	- Sala CPD	12.000

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 da edificação auditada. 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 os sistemas AVAC representam no consumo total da edificação.

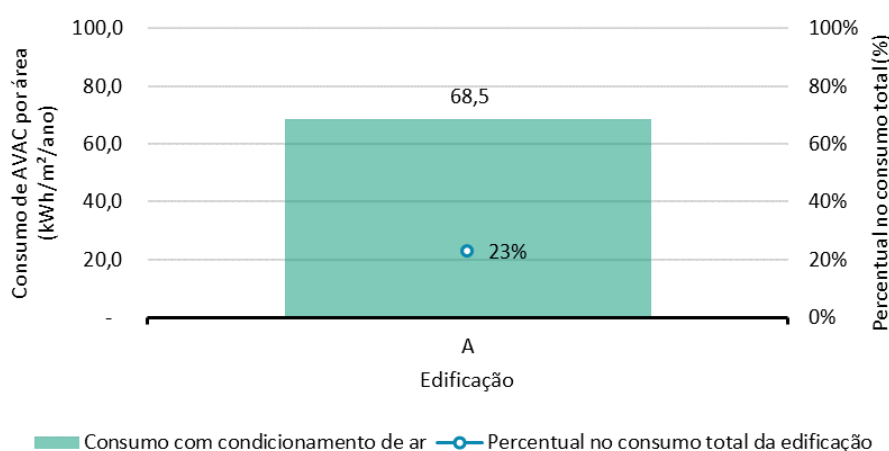


Figura 16 - Proporção do consumo de AVAC predominante na edificação auditada

Percebe-se que o condicionamento de ar também é uma parcela expressiva no consumo total edificação, representando cerca de 23% do consumo total da edificação. A auditoria evidenciou que a edificação não possuía um sistema de condicionamento de ar central, no entanto, não é possível afirmar se essa é uma característica típica dessa tipologia, pois faz sentido a adoção de um sistema centralizado em uma edificação de grande área e volume de ar interno, como é o caso de supermercados.

Como o consumo de energia com condicionamento de ar é intrinsecamente dependente do clima, é importante visualizar as características climáticas nas quais as edificações estão inseridas. No caso da edificação auditada, a cidade de Capão da Canoa fica localizada no Rio Grande do Sul, pertence à zona Bioclimática 1, segundo a Norma NBR 15.220. Dessa forma, pode-se dizer que o clima da cidade em questão é ameno e, apesar de ter um papel fundamental no consumo total da edificação, o sistema de condicionamento de ar presente pode não ser tão representativo.

ILUMINAÇÃO

Com relação ao sistema de iluminação da tipologia de **Supermercado**, verificou-se majoritariamente o uso de dois diferentes tipos de luminárias: lâmpadas do tipo fluorescentes T8 em luminárias duplas e lâmpadas do tipo refletores LED. Algumas poucas lâmpadas, do tipo LED compacta, também foram identificadas. A Figura 17 apresenta o consumo com iluminação e a proporção do seu respectivo consumo no consumo total da edificação.

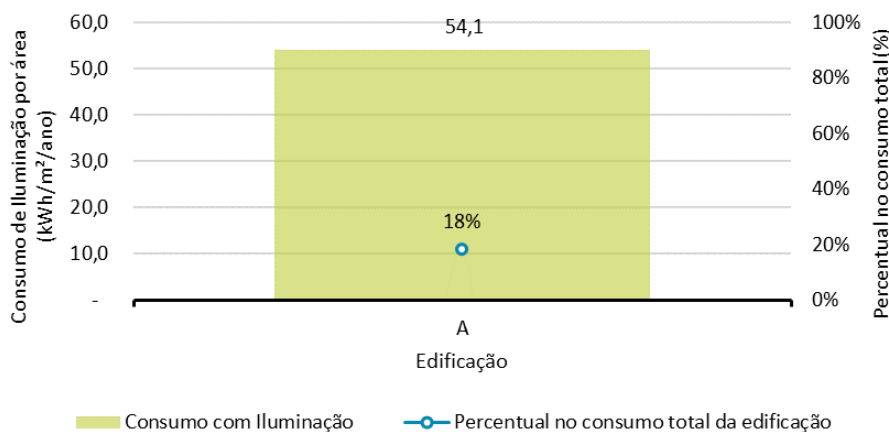


Figura 17 – Proporção do consumo de iluminação na edificação auditada

O consumo com iluminação foi de 323 kWh no ano, resultando em um consumo por área de 54,1 kWh/m²/ano, o que significa 18% do consumo total estimado da edificação. Além disso, a densidade de potência de iluminação observada foi de 15,72 W/m².

CARGAS DE TOMADA

No caso das edificações auditadas da tipologia de **Supermercado**, 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 18 apresenta o consumo com cargas de tomada e a proporção desse uso final no consumo total de cada edificação.

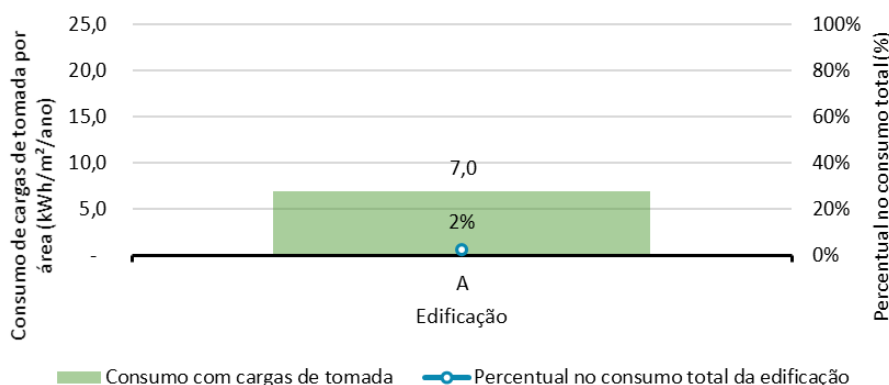


Figura 18 – Proporção do consumo de energia para cargas de tomada na edificação auditada

A edificação auditada apresentou consumo anual de cargas de tomada de 7,0 kWh/m²/ano, representando uma proporção de 2% do consumo total da edificação.

ANÁLISE DOS USOS FINAIS

A Figura 19 apresenta a síntese dos consumos anuais por área construída dos principais sistemas da edificação da tipologia de **Supermercado** auditada e calculados por meio da planilha de auditoria energética CBCS-DEO.

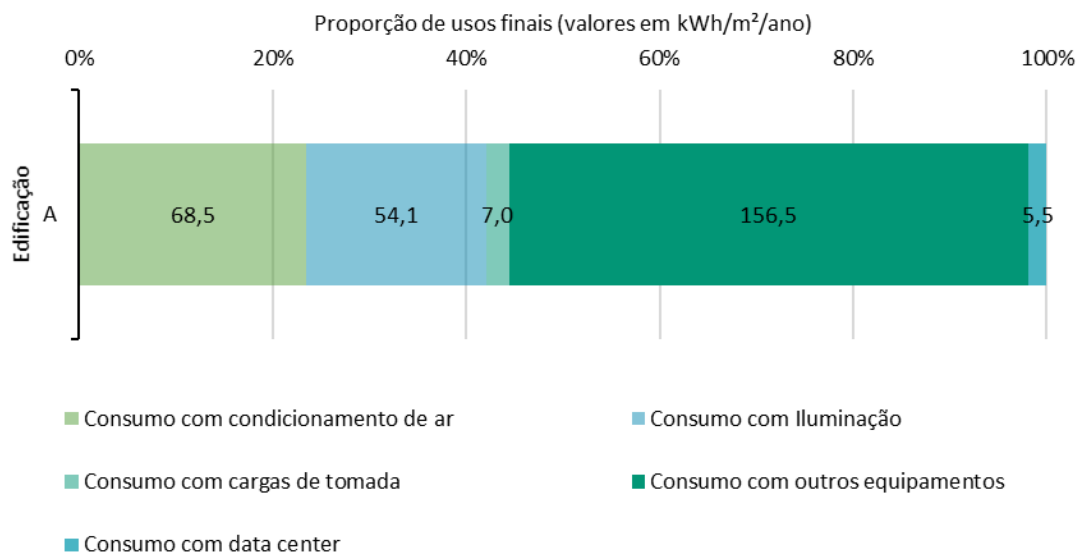


Figura 19 – Proporção e valores dos usos finais por área construída da edificação auditada.

É possível perceber que o consumo com outros equipamentos (que nesse caso se referem a equipamentos de refrigeração, câmaras aquecidas e resfriadas para padarias e açougues, cargas para preparo de alimentos, ilhas refrigeradas e balcões refrigerados) representam a maior parcela do consumo total da edificação, 156,5 kWh/m²/ano, cerca de 54% do consumo total da edificação.

O sistema de condicionamento de ar apresentou um consumo anual de 68,5 kWh/m²/ano, cerca de 23% do consumo total anual da edificação, seguido da iluminação com 18% do consumo total, cerca de 54,1 kWh/m²/ano. Por último, os consumos com data center (CDP) e cargas de tomadas foram os consumos menos representativos, sendo respectivamente 5,5 kWh/m²/ano e 7 kWh/m²/ano, representando ambos cerca de 2% do consumo total anual da edificação. O EUI estimado da edificação foi de 291,6 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.06, adotado nas simulações para determinação dos *benchmarks* desta tipologia, foi confrontado com os resultados desta análise do estoque e da auditoria energética.

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	Auditoria	Arquétipo CBCS
Pavimentos	1	1	1
Subsolos	0	0	0
Pé-Direito[m]*	-	5,5	6,00
Formato	-	Retangular	Retangular
Sombreamento	-	Sem sombreamento	Sem Sombreamento
Perfil de Ocupação	Monousuário	Monousuário	Monousuário
Turnos	7 dias na semana	6 dias na semana	7 dias na semana
Área Construída [m ²]	Média = 975,1	5.962,94	4.181
	Mediana = 350,0		
Área Privativa [%]	-	24%	2,1%
Área Comum [%]	-	75%	97,9%
Área Técnica [%]	-	1%	0%
Ocupação [m ² /pessoa]	40 m ² por pessoa	15 m ² por pessoa	5 a 10 m ² por pessoa

* Medida de Piso a forro;

O modelo do arquétipo do CBCS foi constituído por uma edificação de um pavimento, com volumetria retangular e pé-direito de 6,0 m. As dimensões do modelo são 79,19 m x 52,80 m, representando um total de 4.181 m². A edificação é do tipo monousuário, com seis zonas térmicas condicionadas para representar a área de vendas, hortifrutti, padaria, cafeteria, estoque e área administrativa.

Quanto à ocupação média, adotou-se um modelo variado de acordo com a hora do dia, baseado na tabela G-J “Retail Occupancy” da norma “ASHRAE 90.1 – Users Manual”. Dessa forma, a ocupação média variou de 10 m² por pessoa a 5 m² por pessoa no horário de pico (às 16h). As propriedades construtivas¹ das paredes foram consideradas como paredes simples ($U_{parede} = 2,53 \text{ W/m}^2\text{K}$, $CT_{parede} = 147 \text{ kJ/m}^2\text{K}$), da cobertura como cobertura com laje e telhado fibrocimento ($U_{cobertura} = 1,01 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $CT_{cobertura} = 238 \text{ kJ/m}^2\text{K}$). O tipo de vidro foi considerado como vidro simples ($U_{vidro} = 5,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ e fator solar de 0,7).

¹ Notas:

U = Transmitância térmica;

CT = Capacidade térmica.

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;
- **Equipamentos:** Um cenário com Densidade de Potência de Equipamentos (DPE) médio de 14,2 W/m² e outro cenário com DPE médio de 7,2 W/m²;
- **Orientação solar:** Um cenário com fachada principal voltada a Oeste e outro cenário com a fachada principal voltada a Sul;
- **Cor da envoltória:** um cenário considerando cores mais escuras (absortância = 0,7) e outro cenário considerando cores mais claras (absortância = 0,3);
- **Entorno:** Um cenário com a edificação exposta ao entorno e outro cenário com o estabelecimento inserido em outra edificação, com três faces adiabáticas e uma face exposta;
- **Renovação de ar:** Um cenário com renovação de ar com a vazão apropriada de acordo com o tipo de ambiente, conforme Nível 1 da norma ABNT NBR 16401-3, e outro cenário com nível 3 da norma ABNT NBR 16401-3.
- **Tipo de AVAC:** Um cenário com sistema de condicionamento de ar do tipo *Rooftop* individual com volume de ar constante (RT-VAC, EER = 3,77 W/W), outro cenário com sistema de condicionamento de ar do tipo *Rooftop* individual com volume de ar variável (RT-VAV, EER = 3,77 W/W) e um terceiro cenário com sistema de condicionamento de ar do tipo *Chiller* com condensação a ar (*Chiller*-UTA-VAV, COP = 3,23 W/W).

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 na auditoria realizada em uma das equações de *benchmark* desenvolvidas para a tipologia de **Supermercado**, detalhada no **relatório RT2B.06**, as quais 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 (para GHR abaixo de 54 mil adotados os adimensionais: 1 – *Rooftop* VAV, 2 – *Chiller* UTA VAV, 3 - RT VAC; e para GHR acima de 54 mil adotados os adimensionais: 1 – *Rooftop* VAV, 2 – RT VAC, 3 - *Chiller* UTA VAV);
- d) ILUMINAÇÃO – Densidade de potência de iluminação instalada (W/m²);
- e) EQUIPAMENTOS – Densidade de potência de equipamentos instalados (W/m²).

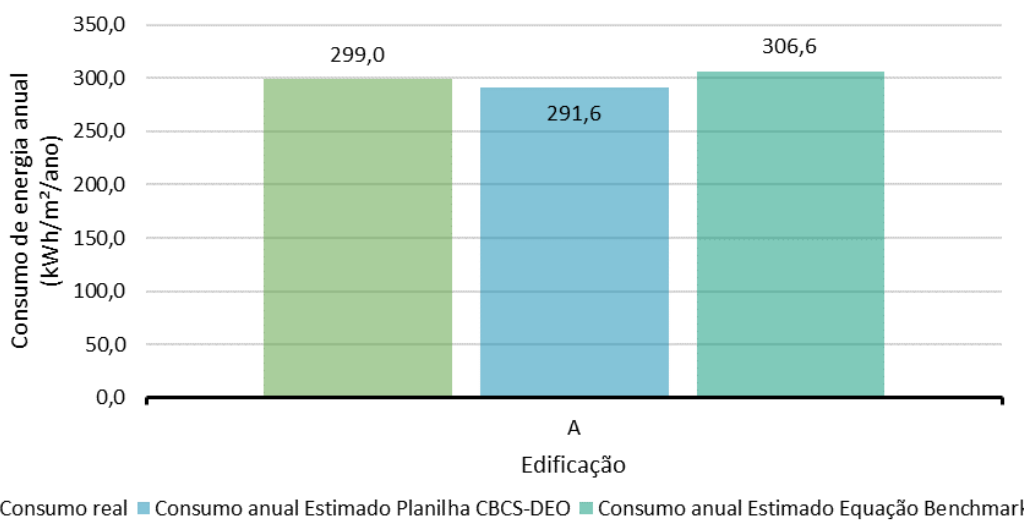


Figura 20 apresenta a comparação do consumo real da edificação auditada em relação à estimativa calculada com a planilha de auditoria energética CBCS-DEO e a equação de *benchmark*.

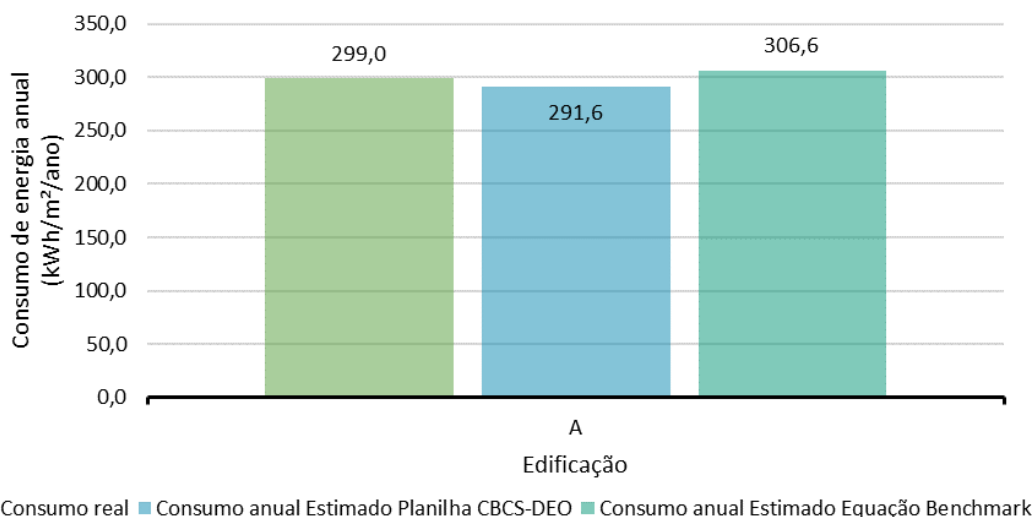


Figura 20 – Comparação do consumo real e consumos estimados pela planilha CBCS-DEO e pela equação de benchmark desta tipologia

A diferença entre consumo estimado pela planilha CBCS-DEO e o consumo real foi muito pequena, 1% menor. E, também pequena foi a diferença em relação à estimativa pela equação de *benchmark*, 2% maior.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este relatório apresenta a caracterização da tipologia de **Supermercado** a partir da análise de dados do estoque de edificações (com 400 dados completos e tratados, cobrindo 26 Unidades Federativas brasileiras) e da análise de uma auditoria energética realizada em uma edificação em uma única cidade.

A análise do estoque e a síntese dos resultados da auditoria energética realizada 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 da auditoria, 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 do consumo estimado com o consumo real evidenciou que o método de estimativa da planilha CBCS-DEO proporciona resultados coerentes com a realidade encontrada na edificação auditada, uma vez que o valor de consumo estimado foi próximo do valor de consumo real. Igualmente, a estimativa realizada pela equação de *benchmark* levou a resultado próximo do valor de consumo por metro quadrado real da edificação avaliada, com uma diferença de 2% maior que o consumo real da edificação auditada.