



CBCS

Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

RT2A.05: Relatório de Auditorias Energéticas - Tipologia de Shopping Center

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 Shopping Center.

SUMÁRIO

1. CONTEXTUALIZAÇÃO E METODOLOGIA.....	2
Método geral adotada para o convênio.....	3
2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	4
3. ANÁLISE DOS DADOS DO ESTOQUE.....	6
4. AUDITORIAS ENERGÉTICAS	7
Características gerais.....	7
Ocupação.....	9
Cargas especiais	9
Condicionamento de ar.....	10
Iluminação.....	12
Cargas de tomada.....	12
Análise dos usos finais.....	13
5. VALIDAÇÃO DO ARQUÉTIPO E ANÁLISE DOS CONSUMOS	15
Validação do arquétipo e variáveis relevantes	15
Comparação do consumo real com os consumos estimados	16
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	18

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 ADOTADA 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.

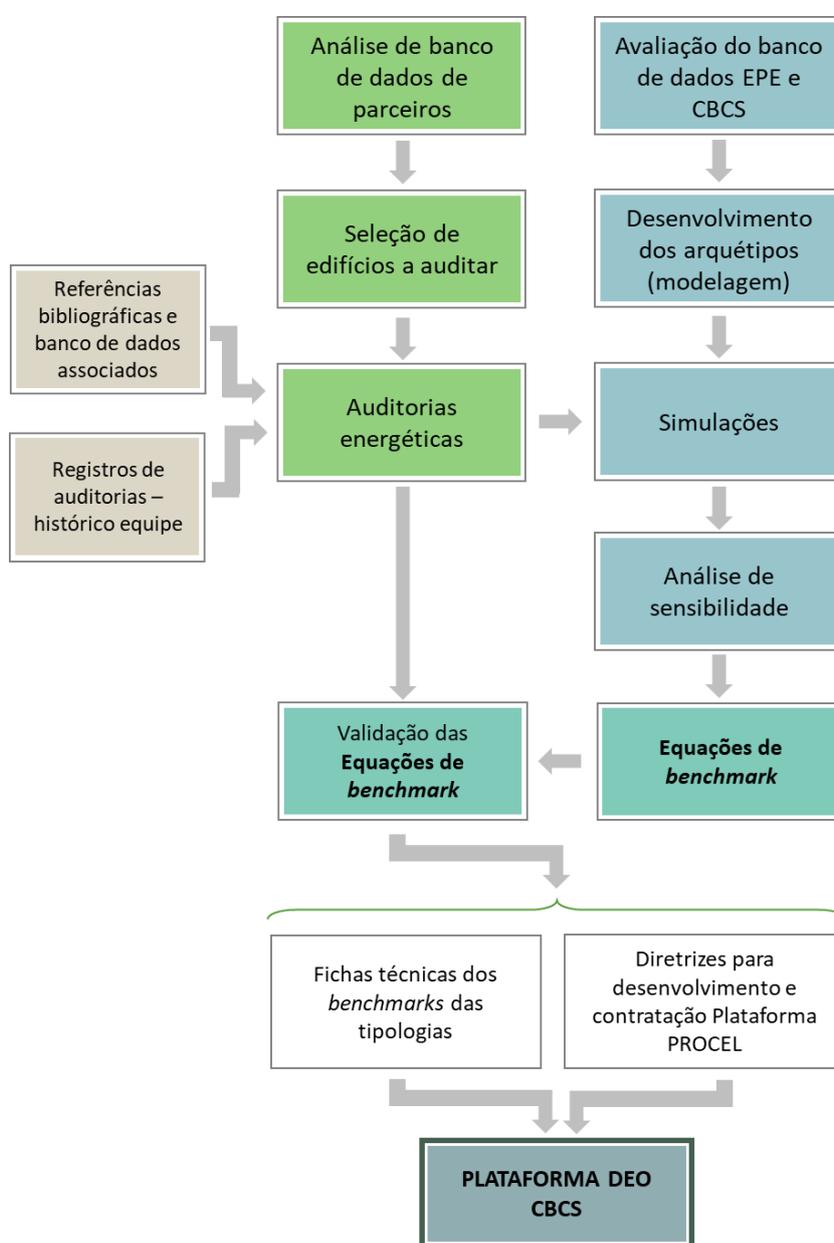


Figura 1 - Método aplicado pelo CBCS para o desenvolvimento dos benchmarks

no âmbito deste convênio

2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este relatório apresenta a caracterização da tipologia de **Shopping Center** a partir da análise de 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.

O projeto alvo do convênio abrange 15 tipologias e para duas delas, as tipologias de **Shopping Center e Data Center e Centro de Processamento de Dados**, não há informações específicas na base de dados do Projeto META, conforme apresentado na tabela 1. Também não foi possível firmar as parcerias para o fornecimento de dados e a realização de auditorias nestas tipologias, como justificado a seguir em decorrência da pandemia de COVID-19.

Dessa forma, diferentemente dos relatórios RT2A elaborados para as 13 outras tipologias, neste relatório **RT2A.05**, referente à tipologia de **Shopping Center**, não é apresentada uma análise do banco de dados do estoque. Apesar de não a ter realizada, o capítulo foi mantido neste relatório, preservando a estrutura padronizada das informações necessárias para a compreensão dos elementos que precederam a elaboração das equações apresentadas por meio deste convênio.

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

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;

técnicas em algumas tipologias não puderem 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;
- 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 dados do estoque de edificações é uma análise extensiva que busca identificar características típicas de uma tipologia de edificações por meio de análises estatísticas e avaliação de proporções. Busca-se obter valores médios para os principais parâmetros que caracterizam a tipologia, de forma abrangente.

Apesar de importante, esta análise não foi contemplada para a tipologia de **Shopping Center**, pela indisponibilidade de banco de dados, conforme explicado no capítulo anterior.

Dados de dois edifícios com auditorias energéticas realizadas a partir da análise de projetos reais e edificados, pertencentes ao acervo da equipe técnica deste convênio são analisados e apresentados no capítulo seguinte.

4. AUDITORIAS ENERGÉTICAS

CARACTERÍSTICAS GERAIS

As auditorias energéticas da tipologia de **Shopping Center** foram realizadas a partir da análise de projeto de duas edificações. A Tabela 1 apresenta um resumo dos dados principais das edificações analisadas.

Tabela 1 – Dados principais das edificações auditadas

Edificação	A	B
Número de Pavimentos	4	2
Município	Rio de Janeiro	Campo Grande
Estado	RJ	MS
Pé-Direito ¹ [m]	2,8	5,8
Perfil de ocupação ²	Monouitário	Monouitário
Dias de ocupação semanal	7	7
Área construída [m ²]	102.883,20	168.350,93
Área Útil ³ [m ²]	69.099,88	108.380,87
Área Privativa ⁴ [m ²]	32.271,45	10.603,93
Área Comum ⁵ [m ²]	36.828,43	67.776,94
Área técnica [m ²]	33.783,32	59.970,06
Quantidade de funcionários [pessoas]	N/D	N/D
Taxa de Ocupação ⁶	100	100
Densidade de Potência de Iluminação [W/m ²]	43,16	9,13
EUI real [kWh/m ² /ano]	N/D	106,79

¹ Medida de Piso a forro;

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

³ Soma das áreas comuns e privativas, exclui áreas técnicas, garagens, jardim, depósitos e etc.

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

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

⁶ Relação entre a área efetivamente ocupada por funcionários, lojistas e clientes e a área total;

Nota: N/D = não disponível.

A partir da razão entre consumo de energia medido dos últimos 12 meses e a área construída total da edificação, pode-se calcular o EUI (do inglês: *Energy Use Intensity*, Intensidade de Uso de Energia) de uma edificação. 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. Neste caso da tipologia de **Shopping Center**, apenas a edificação “B” forneceu informações do consumo medido da edificação. O EUI real da edificação “B” foi de 106,79 kWh/m²/ano.

De acordo com o levantamento dos sistemas, equipamentos e informações da operação existentes nas edificações “A” e “B” foi possível estimar o EUI calculado por meio da planilha CBCS-DEO. O EUI calculado da edificação “A” foi de 250,24 kWh/m²/ano e da edificação “B” foi de 116,79 kWh/m²/ano. Este EUI calculado foi utilizado como parâmetro para as análises realizadas neste relatório.

A Tabela 2 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 2 – Caracterização dos sistemas das edificações auditadas

SISTEMAS	CARACTERÍSTICAS
Fornecimento de energia	Rede aérea de alta tensão, subgrupo A4.
AVAC	Sistema do tipo <i>Chiller</i> a água e <i>Chiller</i> a ar.
Iluminação	Luminárias com T8 Fluorescente e Refletor vapor misto.
Aquecimento de água	Não observado.
Cargas de tomadas	Computadores, refrigeradores, sistemas de informática e equipamentos diversos de lojas
Cargas específicas	Equipamentos diversos de lojas
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 duas edificações auditadas possuem formatos irregulares, pé direito médio 4,3 m e perfil de ocupação monousuário, no que se refere a serem ocupadas apenas com o shopping e seus locatários, ou seja, não ocupados por edifícios de escritórios, hotel e outras tipologias. As edificações auditadas apresentaram variação de quantidade de pavimentos.

De modo geral, as edificações desta tipologia apresentam partido arquitetônico similar com espaços funcionais semelhantes: áreas comuns (áreas de circulação, praças de alimentação e espaços de convívio e restauração); áreas privativas (salas comerciais, espaços de aluguel e espaços administrativos); e áreas técnicas (áreas de manutenção, acesso de funcionários e maquinário, casa de máquinas e depósito). A área de estacionamento foi considerada como área técnica.

Dentre as edificações auditadas, a área construída média é de 135.617,07 m², com área útil média de 66% desse valor. A proporção de área privativa média é de 28%, área comum média de 38% e área técnica média de 34% da área útil. A Figura 2 apresenta a proporção das áreas comuns, privativas e técnicas de cada edificação auditada.

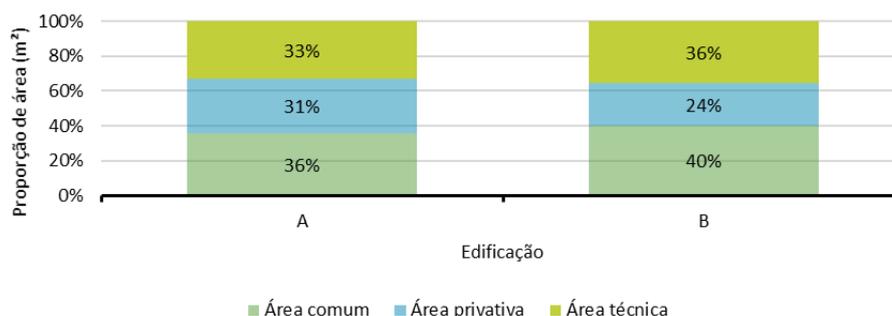


Figura 2 - Proporção dos tipos de áreas das edificações auditadas

OCUPAÇÃO

Todas as duas edificações da tipologia de **Shopping Center** analisadas funcionam os sete dias da semana, o que se confirmou por meio de pesquisas feitas na *internet*.

A quantidade média de funcionários das edificações auditadas não foi fornecida. A relação entre a área útil e as áreas efetivamente ocupadas das edificações auditadas foi de 100% para as duas edificações (Figura 3).

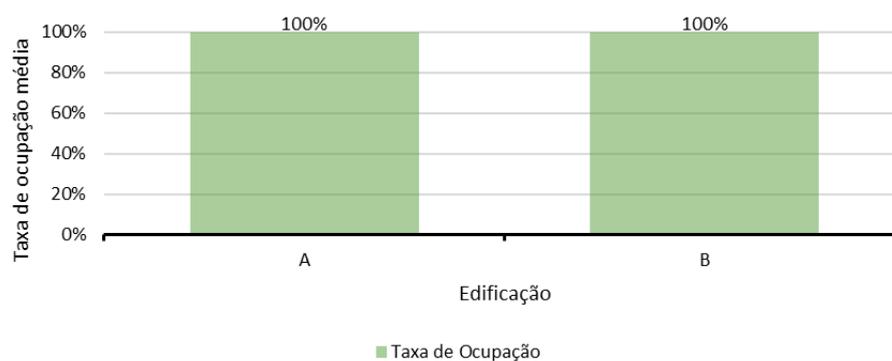


Figura 3 – Taxa de ocupação das edificações auditadas

A edificação “B” informou uma frequência de clientes de 71.000 pessoas por semana.

CARGAS ESPECIAIS

Para a tipologia de **Shopping Center**, observou-se como cargas especiais os equipamentos de *data center* para composição da rede lógica interna das edificações - *racks* e *no-breaks* localizados em ambientes administrativos.

A Figura 4 apresenta o consumo desses equipamentos e seu impacto no consumo total das edificações auditadas. Apenas a edificação “A” reportou esse tipo de consumo com *racks* e *no-breaks*, que foi de 90.811 kWh/ano, resultando em 0,9 kWh/m²/ano e representando em menos de 1% do consumo total da edificação. Pode-se perceber que o impacto desses equipamentos é pouco significativo no consumo total para esta tipologia.

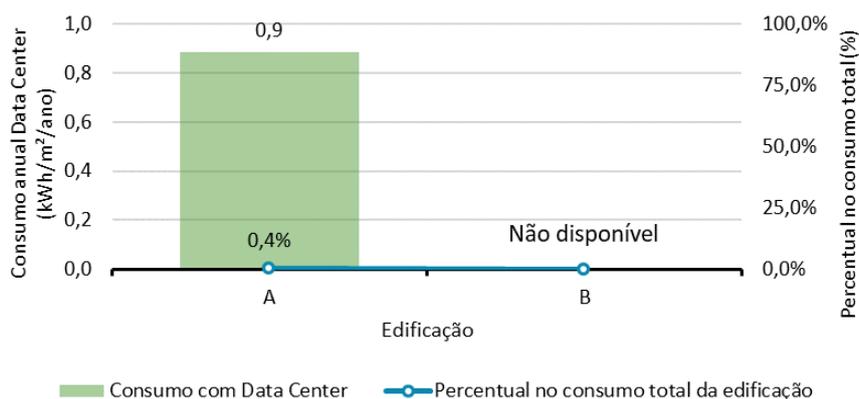


Figura 4 – Proporção do consumo de equipamentos de central de processamento de dados em relação ao consumo total das edificações auditadas

Além disso, há outros equipamentos como aqueles de segurança, elevadores, caixas de autoatendimento, cancelas, escadas rolantes, sistema de segurança, cinema, entre outros similares que têm consumo registrado de forma diferenciado. Esses equipamentos foram classificados como “outros equipamentos” e a Figura 5 apresenta seu consumo e a sua proporção em relação ao consumo total de cada edificação auditada.

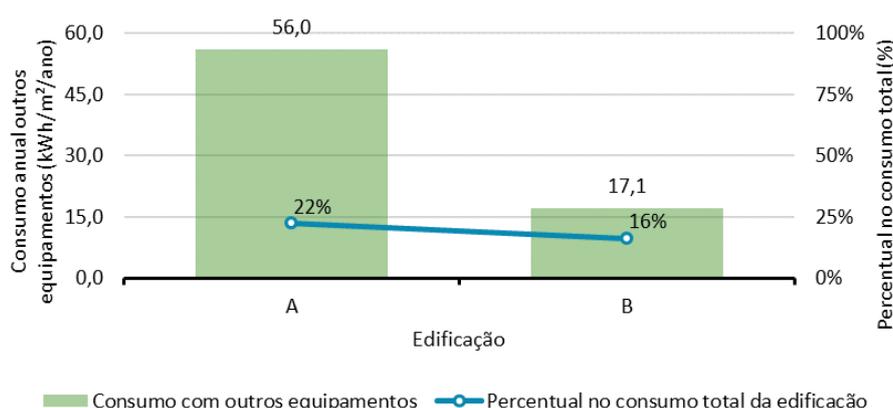


Figura 5 – Proporção do consumo de outros equipamentos em relação ao consumo total das edificações auditadas

A edificação “A” apresentou um consumo estimado de 56 kWh/m²/ano, representando 22% do consumo total estimado e a edificação “B” de 17,1 kWh/m²/ano, representando 16% do consumo total estimado da edificação. Percebe-se que esse tipo de carga representa em média 18,5% do consumo total dessa tipologia.

CONDICIONAMENTO DE AR

Em termos de equipamentos de condicionamento de ar para a tipologia de **Shopping Center**, a densidade de refrigeração média das edificações auditadas foi de 72,22 BTU/h/m², considerando a área condicionada total. A Tabela 3 apresenta a síntese da potência dos sistemas de AVAC para as edificações auditadas.

Tabela 3 - Lista de equipamentos do sistema de condicionamento de ar nas edificações auditadas

Edifício	Tipo de equipamento	Ambiente	Potência instalada [BTU/h]
A	Chiller a ar	- Todos os ambientes	8.273.037

B	<i>Chiller a água</i>	- Todos os ambientes	2.095.904
----------	-----------------------	----------------------	-----------

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

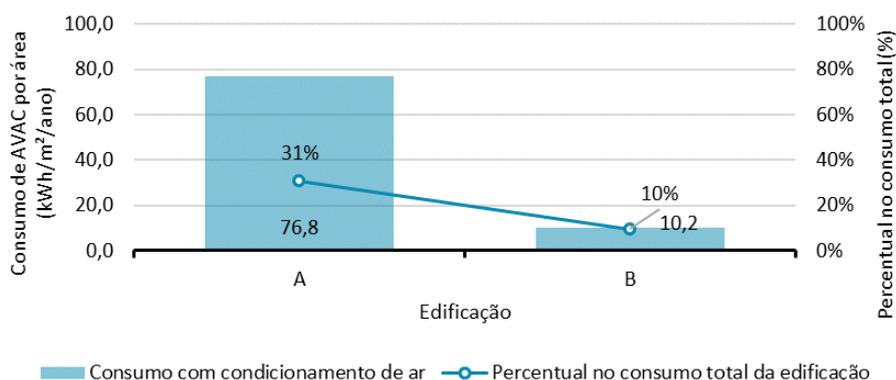


Figura 6 - Proporção do consumo dos sistemas de condicionamento de ar em relação a consumo total das edificações auditadas

Percebe-se que o condicionamento de ar é uma parcela expressiva no consumo total edificação, variando de 10 a 31% nas edificações auditadas. As auditorias evidenciaram que é comum a presença de sistemas centrais de condicionamento de ar na tipologia de **Shopping Center**.

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 7 apresenta os GHR das regiões em que estão as edificações auditadas, em conjunto com o EUI total da edificação e o consumo com equipamentos do sistema AVAC.

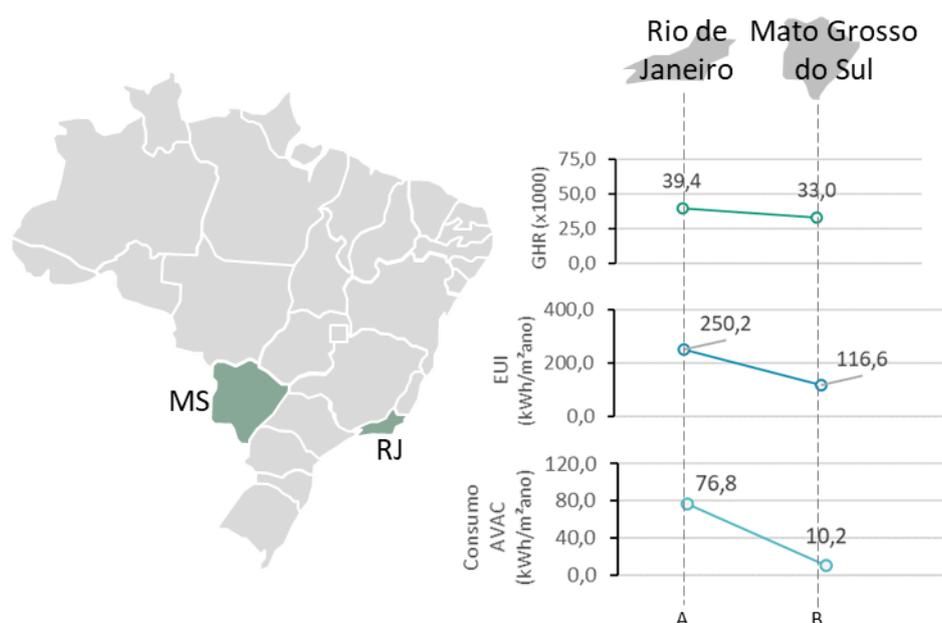


Figura 7 – Relação entre consumo do AVAC, EUI e GHR das regiões onde estão inseridas as edificações auditadas.

A partir da Figura 7 pode-se verificar que a variação do consumo de energia total das edificações (EUI) e o consumo de energia com sistemas de condicionamento de ar acompanhou a variação de GHR. O estado do Rio de Janeiro tem um GHR médio maior que o estado do Mato Grosso do Sul. Similarmente, o consumo com AVAC por metro quadrado também foi maior na cidade do Rio de Janeiro, impactando no consumo total da edificação, que também foi maior. Esta análise demonstra que há um impacto significativo do clima no consumo de energia das edificações auditadas.

ILUMINAÇÃO

Com relação ao sistema de iluminação da tipologia de **Shopping Center**, verificou-se majoritariamente o uso de luminárias com T8 Fluorescente e Refletor vapor misto. Diferentes tipos de sistemas de iluminação foram identificados nas lojas e pontos de serviço. A Figura 8 apresenta o consumo com iluminação e a proporção do seu respectivo consumo no consumo total da edificação.

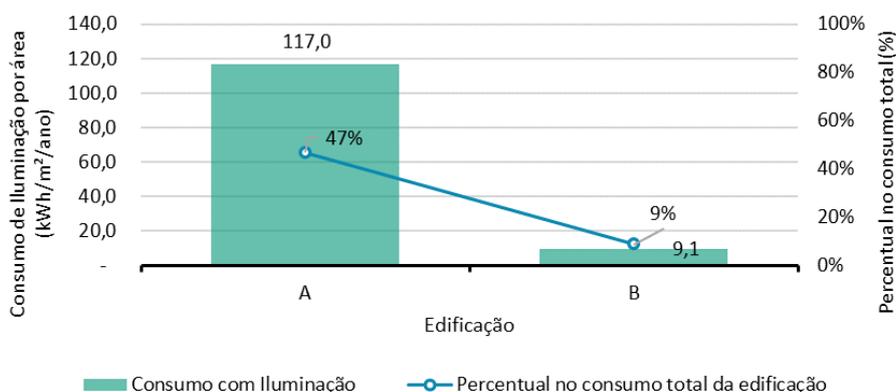


Figura 8 – Proporção do consumo de iluminação nas edificações auditadas

Há uma variação considerável entre os consumos por área com iluminação, variando de 9,1 a 117 kWh/m²/ano. Destaca-se que os percentuais no consumo total estimado das edificações foram discrepantes, variando de 9% a 47% do consumo total estimado. Ao verificar a densidade de potência de iluminação instalada nas edificações percebe-se que também são diferentes, o que pode justificar esta discrepância entre a estimativa de consumo de energia dos dois edifícios auditados - a edificação “A” tem DPI de 43,16 W/m² e a edificação “B” de 9,13 W/m².

CARGAS DE TOMADA

Cargas de tomada na tipologia de **Shopping Center** constituem um uso final importante com relação ao uso de energia em edificações. No caso das edificações auditadas, estimou-se o consumo com cargas de tomada com base na quantidade de equipamentos como computadores, impressora e multifuncionais, cafeteira, geladeira, televisores e similares que foram registrados no levantamento de dados. A Figura 9 apresenta o consumo com cargas de tomada e a proporção desse uso final no consumo total de cada edificação.

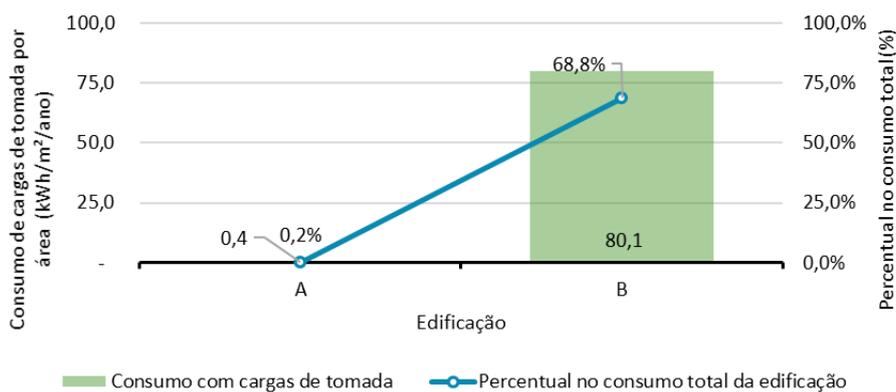


Figura 9 – Proporção do consumo de energia com cargas de tomada nas edificações auditadas

É possível perceber que a proporção das cargas de tomada no consumo total da edificação apresentou variação significativa entre edificações, variando de 0,2% a 68,8% de seus consumos totais. Em média, pode-se dizer que as cargas de tomada representam cerca de 35% do consumo total anual de uma edificação para essa tipologia (40,3 kWh/m²/ano).

ANÁLISE DOS USOS FINAIS

A Figura 10 apresenta a síntese dos consumos anuais por área construída dos principais sistemas das edificações da tipologia de **Shopping Center** auditadas e calculados por meio da planilha de auditoria energética CBCS-DEO.

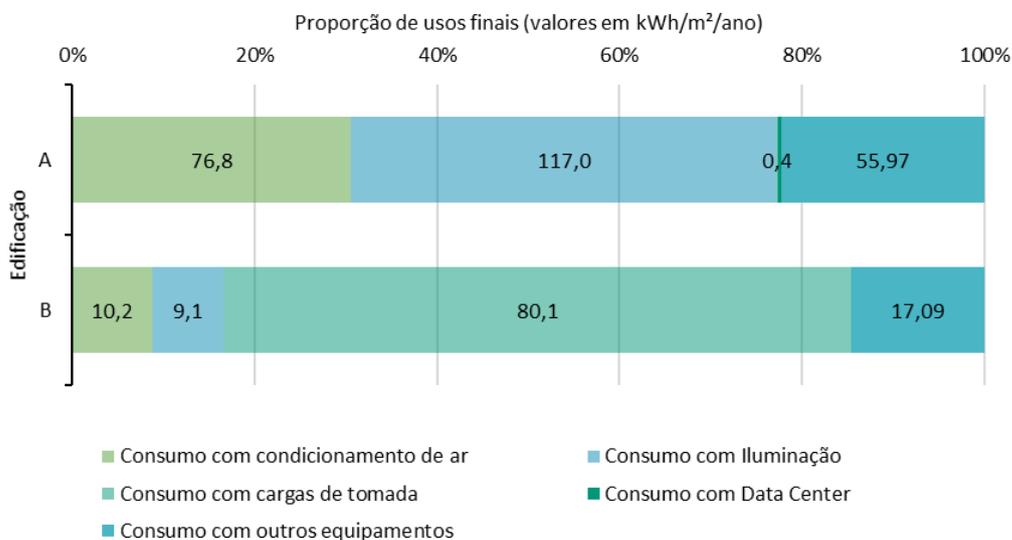


Figura 10 – Proporção e valores dos usos finais por área construída das edificações auditadas

É possível perceber que as proporções de uso final foram discrepantes para as duas edificações avaliadas. Isso evidencia que a tipologia de **Shopping Center** apresenta uma variabilidade de equipamentos e diferentes proporções de usos finais. Nesse contexto, esta análise não pode trazer conclusões sobre a generalização dos resultados para a tipologia.

O consumo mais expressivo na edificação “A” foi o com sistemas de iluminação, representando 47% do consumo total estimado para a edificação, seguido do consumo com sistemas de condicionamento de ar, 31% do consumo total. Cargas de outros equipamentos representaram 22% do consumo total estimado para esta edificação. O EUI estimado para esta edificação foi de 250,24 kWh/m²/ano.

Na edificação “B”, o consumo mais expressivo é com as cargas de tomada, representando cerca de 69% do consumo total estimado da edificação, seguido do consumo com cargas de outros equipamentos, que incluem elevadores e cargas específicas desta tipologia, representando 16% do consumo total da edificação. O sistema de condicionamento de ar e o de iluminação foram pouco representativos em relação ao consumo total das edificações. O EUI estimado para a edificação “B” foi de 116,6 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.05, adotado nas simulações para determinação dos *benchmarks* desta tipologia, foi confrontado com os resultados da análise destas duas auditorias.

A Tabela 4 apresenta a comparação desses dados e os valores adotados para o arquétipo desta tipologia.

Tabela 4 – Resumo dos principais dados construtivos.

Dados	Auditorias	Arquétipo CBCS
Pavimentos	2 a 4	3
Subsolos	0	0
Pé-Direito[m]*	4,3	4,00
Formato	Irregular	Retangular
Sombreamento	Sem sombreamento	Sem Sombreamento
Perfil de Ocupação	Monousuário	Monousuário
Turnos	7 dias na semana	7 dias na semana
Área Construída [m ²]	135.617,07	65.880
Área Privativa [%]	28%	64%
Área Comum [%]	38%	36%
Área Técnica [%]	34%	--
Ocupação [m ² por pessoa]	N/D	Variável

* Medida de Piso a forro.

O modelo do arquétipo do CBCS foi constituído por uma edificação de três pavimentos, com volumetria retangular e pé-direito de 4,0 m. As dimensões do modelo são 180 m x 122 m x 12 m (L x C x A), representando um total de 65.880 m². A edificação é do tipo monousuário, com 46 zonas térmicas para representar a áreas de vendas, lojas diversas, praça de alimentação, circulação, área administrativas e sanitários.

Quanto à ocupação, como notou-se uma significativa variação e dificuldade de obtenção de dados reais e estimativas, adotou-se, um modelo de ocupação por operação, variando de acordo com o tipo de ambiente. As referências para densidade de ocupação de acordo com o horário de funcionamento da edificação foram obtidas junto à ASHRAE. Assim como para a ocupação da edificação, os equipamentos elétricos de tomada também foram definidos de acordo com a utilização de cada ambiente.

As propriedades construtivas das paredes foram consideradas como paredes simples ($U_{parede} = 2,53$ W/m²K) e das coberturas como laje nervurada com telhado de fibrocimento ($U_{cobertura} = 1,01$ W/m²K, $C_{t_{cobertura}} = 238$ kJ/m²K).

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 38,5 W/m² e outro cenário com DPI médio de 20,3 W/m²;

- **Equipamento:** Um cenário com maior densidade de equipamentos (12,8 W/m²) e outro cenário com menor densidade de equipamentos (6,8 W/m²);
- **Iluminação Zenital:** Um cenário com abertura envidraçada de 5% da cobertura e outro cenário sem abertura zenital;
- **Entorno:** Um cenário sem estacionamento na laje de cobertura e outro cenário com estacionamento coberto na última laje;
- **AVAC:** Um cenário com sistema de condicionamento de ar com central de água gelada condensado a ar e outro cenário com a central de água gelada condensada a água;
- **Renovação de ar:** Um cenário com renovação de ar com a vazão nível 3 da norma ABNT NBR 16401-3 e outro cenário com nível 1 desta 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 arquetipo 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 na edificação “B”, uma vez que apenas essa edificação forneceu dados de consumo reais para possibilitar a comparação, na equação de GHR acima de 54.000, desenvolvida para a tipologia de **Shopping Center** e detalhada no **relatório RT2B.05**. São propostas duas equações de *benchmark* considerando as seguintes variáveis independentes:

- GHR – Graus-hora de resfriamento da cidade onde se localiza a edificação;
- GDA – Graus-dia de aquecimento da cidade onde se localiza a edificação;
- ILUM – Densidade de potência de iluminação instalada (W/m²);
- EQUI – Densidade de equipamentos instalados (W/m²);
- ENTO – Condição de entorno (0 – cobertura e uma das fachadas adiabáticas, estacionamento na laje de cobertura e fachada lateral de acesso a este estacionamento / 1 – cobertura e fachadas expostas)
- ÁREA SHOPPING – Área interna destinada a compras e circulação (m²);
- ÁREA ESTACIONAMENTO – Área coberta destinada ao estacionamento de carros (m²);
- ÁREA TOTAL – Soma das áreas de shopping e de estacionamento (m²).

A Figura 11 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.

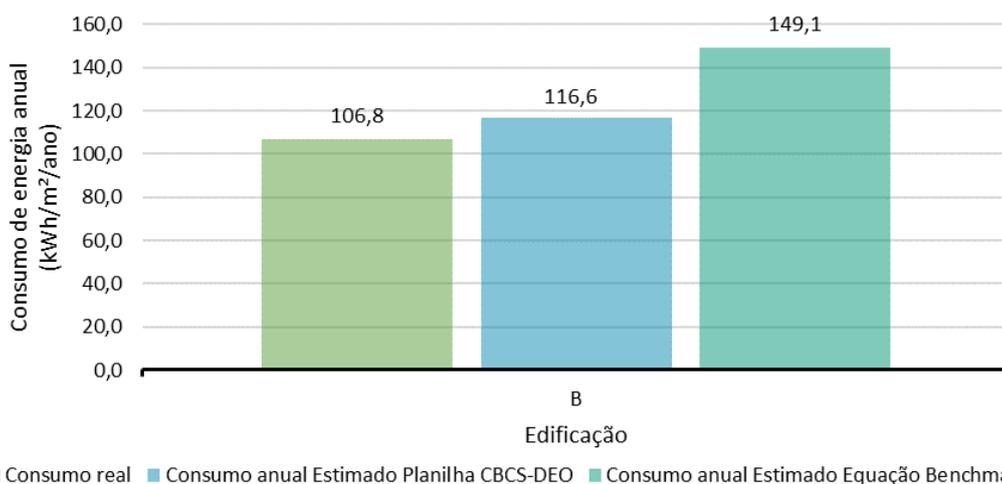


Figura 11 – Comparação do consumo real e consumos estimados pela planilha CBCS-DEO e pela equação de benchmark

A diferença entre o consumo estimado pela planilha CBCS-DEO em relação ao consumo real foi de 9%. Essa diferença pode ser considerada aceitável 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 mostrou uma diferença de 39% a mais em relação ao consumo real. Há uma incerteza inerente do processo de estimativa, que pode acarretar variações expressivas por motivos de diferenças em operação dos sistemas e variações climáticas. Espera-se variações da ordem de até 40%¹ quando estimativas desse tipo são feitas em sistemas simulados de edificações. Esse tipo de variação é denominado pela literatura internacional de *energy performance gap*², e vem sendo cada vez mais explorado para identificar suas causas e procurar formas de mitigação. Atualmente, sabe-se que as principais causas do *energy performance gap* são as variações de operação causadas pelo usuário e as variações climáticas que são imprevisíveis a longo prazo.

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

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

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este relatório apresenta a caracterização da tipologia de **Shopping Center** a partir da análise de auditorias energéticas realizadas em duas edificações em duas cidades diferentes.

A síntese dos resultados das auditorias energéticas realizadas serviu para caracterizar uma pequena 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.

O processo de validação comparou algumas 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* levaram a resultados maiores do que os valores de consumo por metro quadrado reais das edificações auditadas, com uma diferença de 39%. Como grande parte do consumo de energia real desta edificação foi caracterizado como sendo devido às cargas de tomadas, entende-se que o desvio se dá pelas diferentes formas de utilização destes equipamentos, por parte de seus usuários, assim, neste caso, variações expressivas são esperadas.