



CBCS

Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

RT2A.15: Relatório de Auditorias Energéticas - Tipologia de Data Center e Centro de Processamento de Dados

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

OK 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 Data Center e Centro de Processamento de Dados.

SUMÁRIO

1. CONTEXTUALIZAÇÃO E METODOLOGIA.....	2
Método geral adotado 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	17

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.

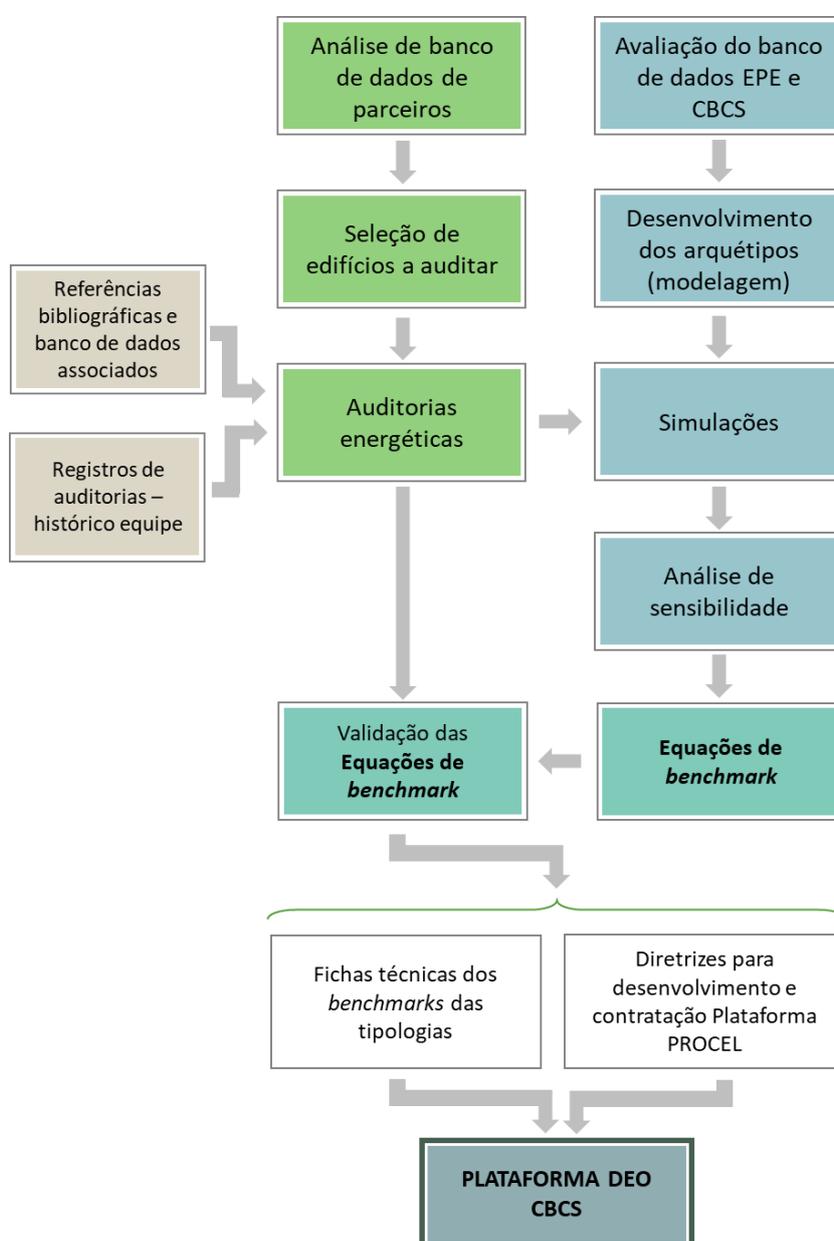


Figura 1 - Método aplicado pelo CBCS para o desenvolvimento dos benchmarks

no âmbito deste convênio

2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este relatório apresenta a caracterização da tipologia de **Data Center e Centro de Processamento de Dados** 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.15**, referente à tipologia de **Data Center e Centro de Processamento de Dados**, 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

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;

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;
- 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 **Data Center e Centro de Processamento de Dados**, 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 **Data Center e Centro de Processamento de Dados** 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	N/D	N/D
Município	São Paulo	Brasília
Estado	SP	DF
Pé-Direito ¹ [m]	N/D	N/D
Perfil de ocupação ²	Monouitário	Monouitário
Dias de ocupação semanal	7	7
Área construída [m ²]	469,34	11.693,42
Área Útil ³ [m ²]	436,48	5.920,00
Área Privativa ⁴ [m ²]	259,56	5.547,39
Área Comum ⁵ [m ²]	50,38	372,61
Área técnica [m ²]	159,40	5.773,42
Quantidade de funcionários [pessoas]	N/D	N/D
Taxa de Ocupação ⁶	22%	N/D
Densidade de Potência de Iluminação [W/m ²]	10,49	N/D
EUI real [kWh/m ² /ano]	N/D	N/D
EUI estimado [kWh/m ² /ano]	4.703,8	4.082,7
PUE ⁷ estimado [kWh/kWh]	1,58	1,65

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 pessoas e a área total;

⁷ Power Usage Effectiveness

Nota: N/D = não disponível.

A Tabela 1 evidencia que as duas edificações auditadas são de portes diferentes, uma vez que uma possui área construída da ordem de 469,34 m² e outra da ordem de 11.693,42 m². Apesar dessa diferença, a função da edificação é a mesma: abrigar equipamentos de Tecnologia da Informação (TI) com alta capacidade de processamento. Não foram fornecidas informações sobre aspectos construtivos, forma da edificação, número de pavimentos, quantidade de funcionários e pé-direito, o que dificulta a caracterização física das edificações. Igualmente, não foram disponibilizados dados de consumo real, o

que impossibilitou o cálculo do EUI real (do inglês: *Energy Use Intensity*, Intensidade de Uso de Energia) destas edificações.

Também não foram disponibilizadas informações a respeito da densidade de potência de iluminação da edificação “B”. No entanto, a auditoria de energia realizada sobre os projetos analisados, ou seja, a verificação de todos os equipamentos instalados, suas potências e modos de operação usuais, permitiram a estimativa de um EUI. Neste caso, a edificação “A” e a edificação “B” apresentaram EUI estimados próximos uma da outra, respectivamente, 4.703,8 kWh/m²/ano e 4.082,7 kWh/m²/ano, tendo a edificação “B” um consumo 13% menor do que o consumo da edificação “A”, que pode ser atribuído, talvez, a não informação do sistema de iluminação da edificação “B”.

Edificações da tipologia de **Data Center e Centro de Processamento de Dados** são construções que abrigam equipamentos de processamento de dados e de TI (servidores, processadores, equipamentos como *racks, no-breaks*, entre outros), conectados entre si e com a *internet*. É importante que edificações desse tipo sejam seguras e protegidas em relação a desastres geológicos e climáticos, assim como a tentativas de ataques por pessoas. Além disso, a capacidade de processamento elevada e a operação contínua dos equipamentos demanda uma quantidade substancial de energia, e, conseqüentemente, há produção de grande quantidade de calor pelo efeito Joule. Como a capacidade de processamento pelas tecnologias atuais diminui com o aumento da temperatura, é importante que as edificações da tipologia de **Data Center e Centro de Processamento de Dados** tenham climatização contínua.

Diante do exposto, podemos inferir que as principais cargas energéticas de uma edificação da tipologia de **Data Center e Centro de Processamento de Dados** é a própria demanda dos equipamentos de TI presentes e dos sistemas de condicionamento de ar para o resfriamento destes equipamentos. Todas as demais cargas, além dessas, podem ser consideradas desprezíveis.

A Tabela 2 apresenta a síntese dos principais sistemas presentes nas edificações auditadas. É importante enfatizar que os projetos compartilhavam características similares e 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>self-contained</i> e <i>Chiller com fan coil</i>
Iluminação	Luminárias com lâmpadas tipo T8 LED.
Aquecimento de água	Não observado.
Cargas de tomadas	Computadores.
Cargas específicas	Não observado.
CPDs	Presença de equipamentos de processamento de dados de grande capacidade e <i>nobreaks</i> com fonte de alimentação ininterrupta – UPS.
Gerador	Não observado.

De acordo com os projetos analisados das edificações auditadas, os ambientes podem ser categorizados como área comuns (acessos, corredores, halls de entrada, banheiros), áreas privativas (escritórios, mesmo que compartilhados) e áreas técnicas (depósitos e salas de servidores).

A área construída das edificações auditadas foi significativamente diferente. Porém, a disposição dos ambientes internos de área comum, área privativa e área técnica foi similar. A proporção média de área comum foi de 7%, de área privativa de 51% e de área técnica de 42%. A Figura 2 apresenta a proporção das áreas comuns, privativas e técnicas de cada edificação auditada.

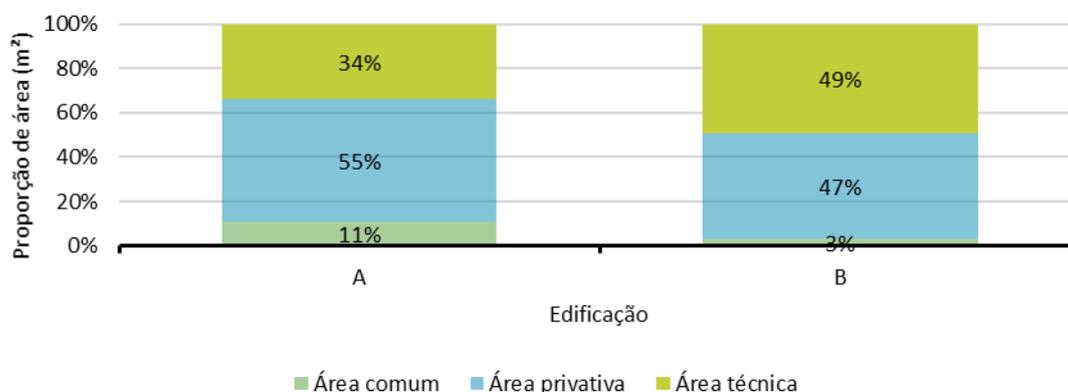


Figura 2 - Proporção dos tipos de áreas das edificações auditadas.

OCUPAÇÃO

Todas as duas edificações da tipologia de **Data Center e Centro de Processamento de Dados** analisadas funcionam os sete dias da semana. Estas edificações operam continuamente, sustentando o tráfego de dados que ocorre *online*.

A quantidade média de funcionários das edificações auditadas não foi fornecida. A relação entre área total e áreas efetivamente ocupadas das edificações auditadas foi em média 51% (Figura 3). Isso se dá porque uma grande parte da edificação desse tipo é ocupada por equipamentos (área técnica), o que não é considerado efetivamente ocupado.

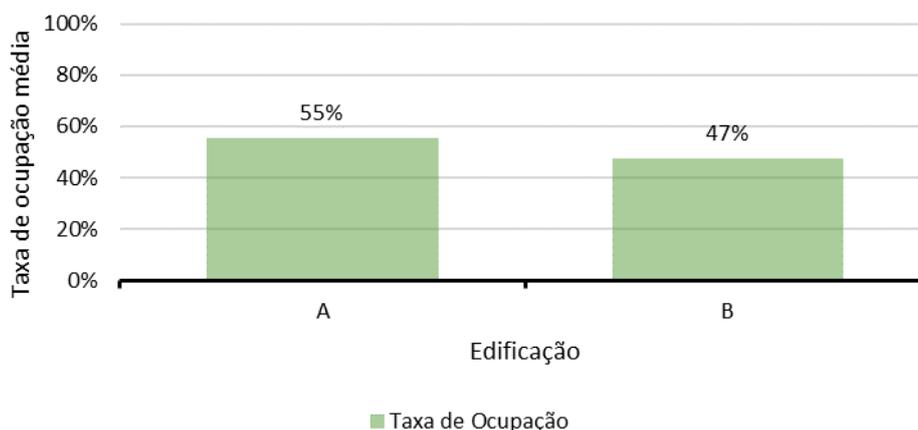


Figura 3 – Taxa de ocupação das edificações auditadas

CARGAS ESPECIAIS

Para a tipologia de **Data Center e Centro de Processamento de Dados**, observou-se como cargas especiais a presença de equipamentos de processamento de dados. Neste caso, estes equipamentos não apenas compõem a rede lógica da edificação, mas também são a finalidade da edificação em si.

A Figura 4 apresenta o consumo desses equipamentos e seu impacto no consumo total das edificações auditadas.

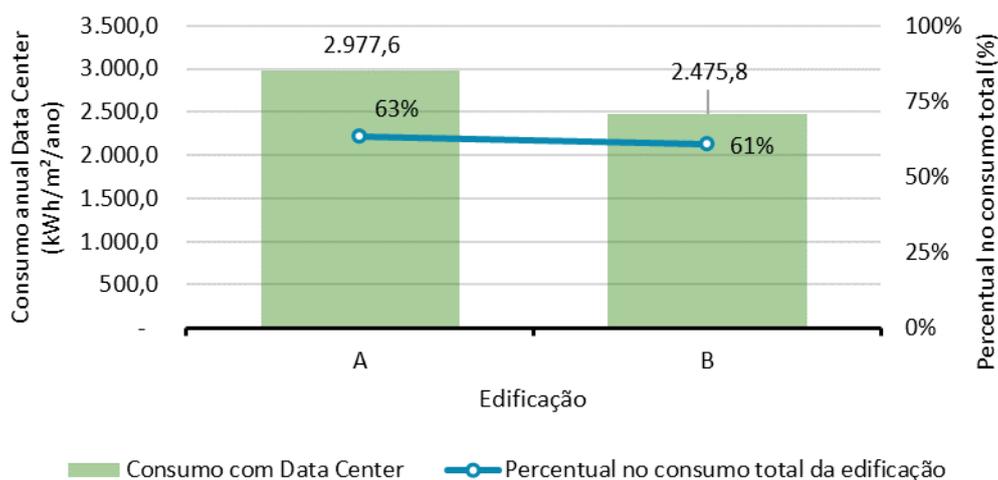


Figura 4 – Proporção do consumo de equipamentos de central de processamento de dados em relação ao consumo total das edificações auditadas

A Figura 4 mostra que o consumo de energia com os equipamentos de processamento de dados das edificações foi de 2.977,6 kWh/m²/ano para a edificação “A” e 2.475,8 kWh/m²/ano para a edificação “B”, resultando em uma média de 2.726,7 kWh/m²/ano. Os valores foram próximos entre si e representaram um percentual no consumo total das edificações próximo também, entre 61 e 63% do consumo total. De fato, a edificação é construída com a finalidade de abrigar esses equipamentos, então, o consumo de energia é praticamente dependente dos modelos e potências instaladas destes.

CONDICIONAMENTO DE AR

Em termos de equipamentos de condicionamento de ar para a tipologia de **Data Center e Centro de Processamento de Dados**, a densidade de refrigeração média das edificações auditadas foi de 5.601 BTU/h/m², considerando a área condicionada total, sendo que a densidade de refrigeração da edificação “A” foi de 5.722 BTU/h/m² e da edificação “B” foi de 5.481 BTU/h/m². 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	Self-contained	- Todos os ambientes	2.685.713
B	Chiller + fan coil	- Todos os ambientes	64.093.156

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

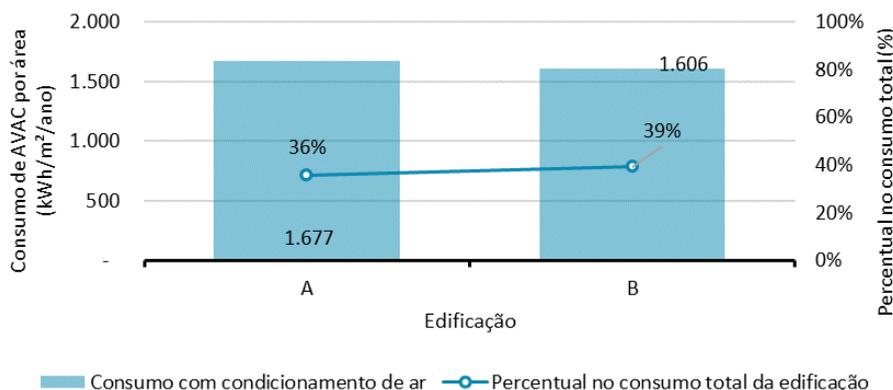


Figura 5 - Proporção do consumo de AVAC em relação ao consumo total das edificações auditadas

Percebe-se que o condicionamento de ar é uma parcela expressiva no consumo total edificação. Em ambas as edificações, o consumo foi similar, sendo de 1.677 kWh/m²/ano para a edificação “A” e 1.606 kWh/m²/ano para a edificação “B”, o que representou, respectivamente, 36% e 39% do consumo total destas edificações. Ressalta-se aqui que, apesar da diferença de áreas entre as edificações “A” e “B”, seus consumos por metro quadrado de área construída são semelhantes.

As auditorias evidenciaram que é comum a presença de sistemas centrais de condicionamento de ar na tipologia de **Data Center e Centro de Processamento de Dados**.

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 6 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.

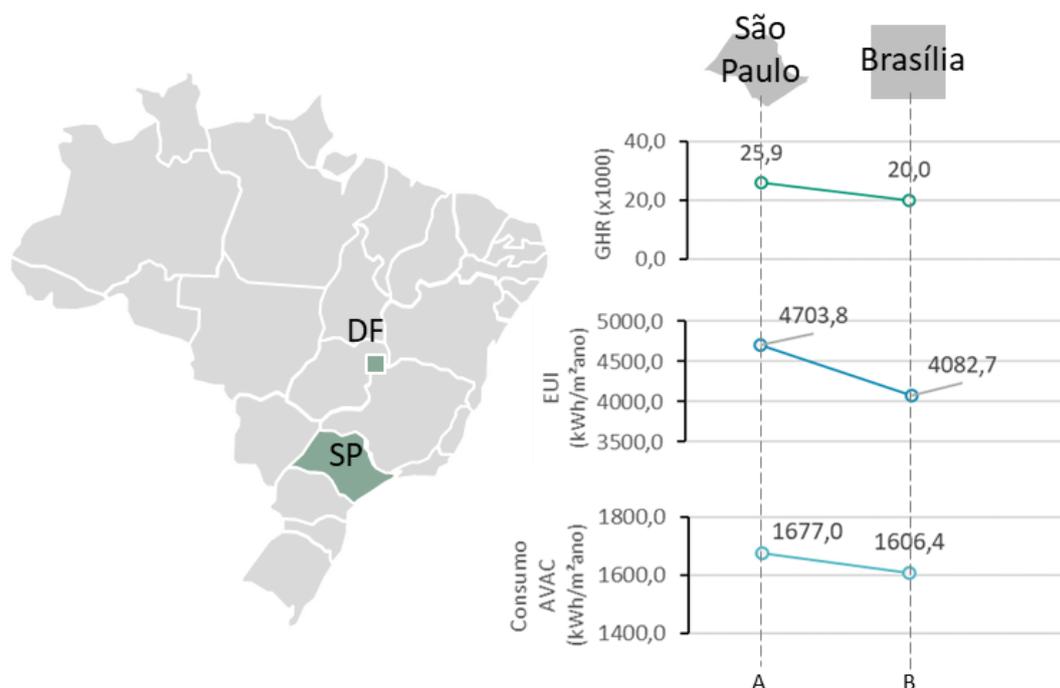


Figura 6 – Relação entre consumo do AVAC, EUI e GHR das regiões onde estão inseridas as edificações auditadas

A partir da Figura 17 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

de São Paulo tem um GHR médio maior que o Distrito Federal. Similarmente, o consumo com AVAC por metro quadrado também foi maior nessa cidade, 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 **Data Center e Centro de Processamento de Dados**, apenas foi disponibilizada essa informação para a edificação “A”, a qual verificou-se majoritariamente o uso de luminárias com T8 LED. A Figura 7 apresenta o consumo com iluminação e a proporção do seu respectivo consumo no consumo total da edificação.

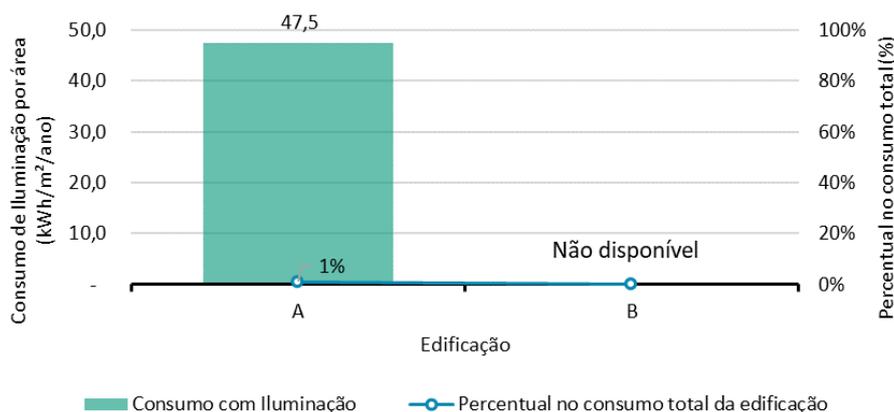


Figura 7 – Proporção do consumo de iluminação nas edificações auditadas.

O consumo com iluminação da edificação “A” foi de 47,5 kWh/m²/ano, representando 1 % do consumo total estimado dessa edificação. A DPI da edificação “A” é de 10,49 W/m².

CARGAS DE TOMADA

Cargas de tomada na tipologia de **Data Center e Centro de Processamento de Dados** constituem um uso final pouco significativo em relação com consumo total da edificação. No caso 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 8 apresenta o consumo com cargas de tomada e a proporção desse uso final no consumo total de cada edificação.

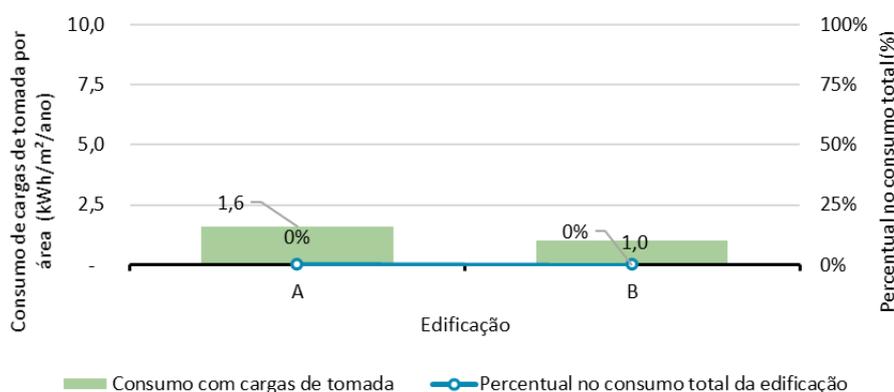


Figura 8 – Proporção do consumo de energia com cargas de tomada nas edificações auditadas

É possível perceber que a proporção de consumo com cargas de tomada representou menos de 1% no consumo total estimado das edificações auditadas. Para a edificação “A”, o consumo estimado com cargas

de tomada foi de 1,6 kWh/m²/ano e para a edificação “B” foi de 1,0 kWh/m²/ano. Pode-se dizer que estas cargas de tomada representam um consumo muito pequeno e desprezável na tipologia de **Data Center e Centro de Processamento de Dados**.

ANÁLISE DOS USOS FINAIS

A Figura 9 apresenta a síntese dos consumos anuais por área construída dos principais sistemas das edificações da tipologia de **Data Center e Centro de Processamento de Dados** auditadas e calculados por meio da planilha de auditoria energética CBCS-DEO.

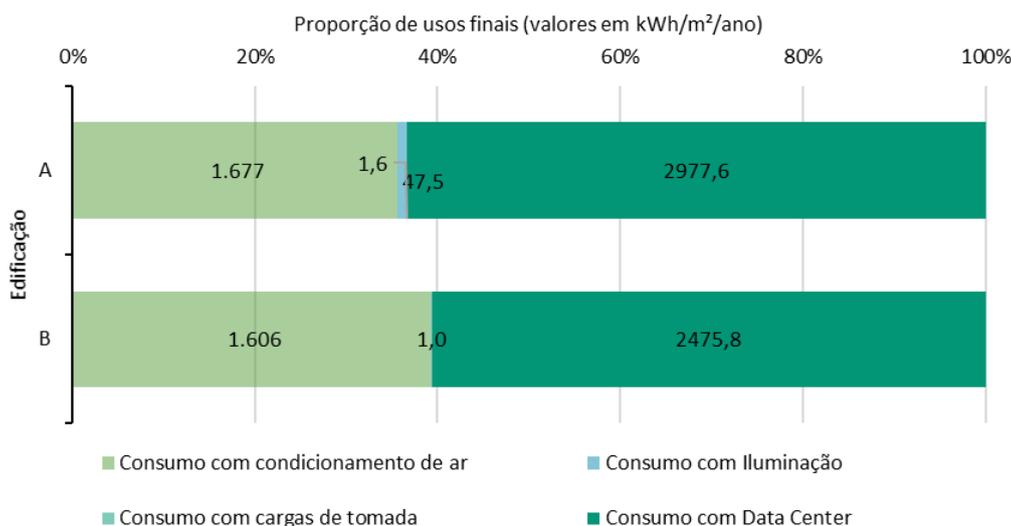


Figura 9 – Proporção e valores dos usos finais por área construída das edificações auditadas

É possível perceber que as proporções de uso final foram muito similares para as duas edificações avaliadas. Isso evidencia que a tipologia de **Data Center e Centro de Processamento de Dados** tem proporções de usos finais bem definidas e caracterizadas pelo consumo das cargas dos equipamentos de processamento de dados instalados, uma média de 2.762 kWh/m²/ano, representando 62% do consumo total estimado destas duas edificações auditadas. Os sistemas de condicionamento de ar consumiram em média 1.642 kWh/m²/ano, representando 37% do consumo total estimado destas edificações.

No caso específico da edificação “A”, a densidade de potência instalada para iluminação foi informada, permitindo a estimativa de consumo na ordem de 47 kWh/m²/ano, representando 1% do consumo total da edificação e revelando ser um uso final pouco representativo para esta tipologia. Notar que particularmente esta edificação auditada tem instaladas lâmpadas em led, portanto, um sistema eficiente.

Já o uso final de consumo de energia com relação às cargas de tomada se mostrou pouco expressivo para a tipologia, uma vez que em ambas as edificações este consumo foi menos que 1% do consumo total estimado da edificação.

Diante do exposto, pode-se dizer que os usos finais mais expressivos para a tipologia de **Data Center e Centro de Processamento de Dados** são os consumos com equipamentos de TI e de condicionamento de ar. De fato, a função específica de uma edificação dessa tipologia é justamente abrigar estes equipamentos de processamento de dados e de TI e os sistemas de condicionamento de ar também atuam no resfriamento dos ambientes em que estão estes equipamentos, grandes fontes de calor e que necessitam de condições ambientais controladas para garantir seu desempenho. Por esta razão, há um indicador específico para mensurar o desempenho energético de edificações da tipologia de **Data Center**

e **Centro de Processamento de Dados**. Esse indicador é denominado PUE¹ (do inglês *Power Usage Effectiveness*, Efetividade de uso de potência), e é calculado conforme a Equação 1.

$$PUE = \frac{\text{Consumo total da edificação}}{\text{Consumo com equipamentos de Tecnologia da Informação}} \quad (1)$$

Ou seja, o PUE é a relação do consumo total da edificação e do consumo com equipamentos de TI. O PUE ideal seria igual a 1,0, ou seja, toda a energia destinada a edificação é utilizada para os equipamentos de TI. No entanto, há sempre outros equipamentos acessórios, como sistema de resfriamento, segurança, iluminação, entre outros, que aumentam o PUE. A Tabela 4 apresenta uma classificação da eficiência do **Data Center** em relação ao PUI.

Tabela 4 – Classificação de eficiência do PUE.

PUE	Eficiência
3,0 ou mais	Muito Ineficiente
3,0 a 2,5	Ineficiente
2,5 a 2,0	Médio
2,0 a 1,5	Eficiente
1,5 a 1,2	Muito eficiente

Fonte: Adaptado de <https://www.42u.com/measurement/pue/dcie.html>

Ressalta-se que o PUE é adimensional, uma vez que é um quociente de dois valores de consumo de energia.

Dessa forma, a partir da relação entre consumo total da edificação e consumo específico para equipamentos de e Data Center, é possível determinar o PUE das edificações auditadas (Figura 10).

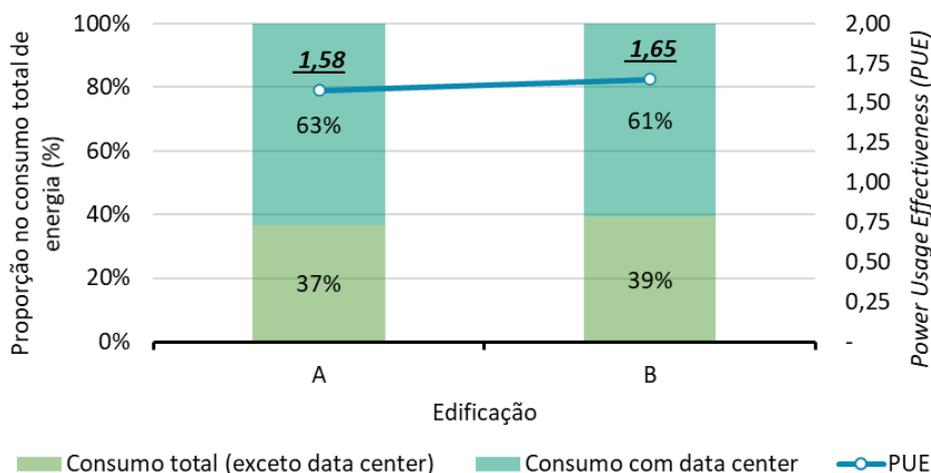


Figura 10 – PUE das edificações auditadas

A Figura 10 mostra que o PUE da edificação “A” foi de 1,58 e da edificação “B” foi de 1,65 sendo que ambos podem ser classificados como “eficientes”, segundo a Tabela 4. Enfatiza-se aqui que a edificação “B” não apresentou seu consumo com iluminação e, apesar de este uso final ser muito pouco expressivo no consumo total da edificação, é possível que o PUE desta edificação seja um pouco maior.

¹ Yuventi, Jumie; Mehdizadeh, Roshan (2013). "A critical analysis of Power Usage Effectiveness and its use in communicating data center energy consumption". *Energy and Buildings*. 64: 90–94. doi:10.1016/j.enbuild.2013.04.015

5. VALIDAÇÃO DO ARQUÉTIPO E ANÁLISE DOS CONSUMOS

VALIDAÇÃO DO ARQUÉTIPO E VARIÁVEIS RELEVANTES

O arquétipo desenvolvido e detalhado no relatório RT2B.15, adotado nas simulações para determinação dos *benchmarks* desta tipologia, foi confrontado com os resultados da análise destas duas auditorias.

A Tabela 5 apresenta a comparação desses dados e os valores adotados para o arquétipo desta tipologia.

Tabela 5 – Resumo dos principais dados construtivos.

Dados	Auditorias	Arquétipo CBCS
Pavimentos	N/D	1
Subsolos	0	0
Pé-Direito[m]*	N/D	4,57
Formato	N/D	Retangular
Sombreamento	Sem sombreamento	Sem Sombreamento
Perfil de Ocupação	Monousuário	Monousuário
Turnos	7 dias na semana	7 dias na semana
Área Construída [m ²]	469,34 a 11.693,42	491,34
Área Privativa [%]	51%	52,75%
Área Comum [%]	7%	-
Área Técnica [%]	42%	47,25%
Ocupação [m ² /pessoa]	N/D	-

* 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 4,57 m. As dimensões do modelo são 15,24 m x 32,24 m x 4,57 m (L x C x A), representando um total de 491,34 m². Foi considerado piso elevado, como é necessário em edificações desta tipologia de **Data Center e Centro de Processamento de Dados**. A edificação é do tipo monousuário, com 2 zonas térmicas condicionadas para representar a área de equipamentos de TI e a área de baterias.

Não foi considerada a ocupação e não foram inseridas esquadrias na edificação, uma vez se considera a edificação totalmente condicionada continuamente. Não há necessidade de iluminação natural.

As propriedades construtivas das paredes foram consideradas como paredes simples ($U_{parede} = 2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$), das coberturas como laje de nervurada com telhado de fibrocimento ($U_{cobertura} = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$, $C_{cobertura} = 238 \text{ kJ/m}^2\text{K}$).

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

- **Iluminação:** Um cenário eficiente com Densidade de Potência de Iluminação (DPI) médio de 8,46 W/m² e outro menos eficiente com DPI médio de 11,52 W/m²
- **Equipamento:** Três cenários variando a densidade dos equipamentos instalados em alta densidade com 1.400 W/m², média densidade com 1.050 W/m² e um terceiro com baixa densidade de 700 W/m²;

- **Entorno:** Um cenário com fachadas expostas ao entorno e outro cenário em que o Data Center está no interior de uma edificação maior;
- **Cor da envoltória:** Um cenário considerando fachadas escuras (absortância de 0,7) e outro cenário com fachadas de cor clara (absortância de 0,3).
- **AVAC:** Um cenário com sistema de condicionamento de ar do tipo *self-contained* VAV (COP de 3,9 W/W) e outro cenário com sistema do Chiller com condensação a ar (COP 3,3 W/W);
- **Setpoint do sistema AVAC:** Um cenário em que o *setpoint* do sistema de condicionamento de ar é fixado em 18°C e outro cenário em que o *setpoint* é fixado em 25,5°C.

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 detalhadas no presente relatório.

Assim, a estimativa do consumo de energia anual também foi calculada, por meio da inserção das informações obtidas nas duas auditorias realizadas na equação de GHR abaixo de 54.000, desenvolvida para a tipologia de **Data Center e Centro de Processamento de Dados** e detalhada no **relatório RT2B.15**. A equação de *benchmark* proposta considera as seguintes variáveis independentes:

- EQUIP – Densidade de potência instalada de equipamentos (W/m²);
- AVAC – Tipo de sistema de condicionamento de ar;
- SETP – Temperatura de *setpoint* do sistema de condicionamento de ar (°C).

Como não foram fornecidos os consumos reais das edificações, a Figura 11 apresenta a comparação do consumo estimado pela Planilha CBCS-DEO e o consumo estimado pela equação de *benchmark* desta tipologia.

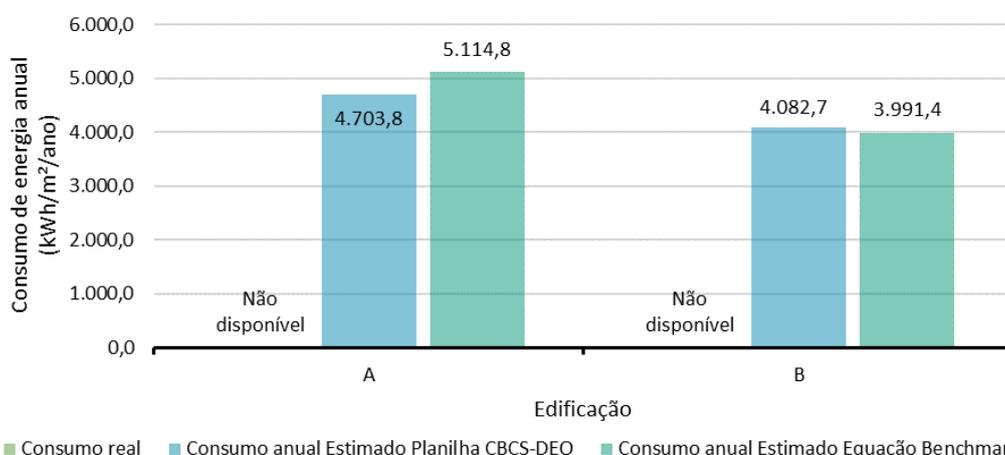


Figura 11 – Comparação entre consumos estimados pela planilha CBCS-DEO e pela equação de benchmark

Para a edificação “A”, a diferença entre consumo estimado pela planilha CBCS-DEO e o consumo estimado pela equação de benchmark foi de 9% a mais. Já para a edificação “B”, a diferença foi de 2% a menos. Essas diferenças podem ser consideradas bem aceitáveis e dentro das variações possíveis quando se utiliza uma estimativa para se comparar com a realidade.

De modo geral, pode-se dizer que, apesar de não termos o levantamento de consumos reais para a tipologia de **Data Center e Centro de Processamento de Dados**, trata-se de uma tipologia com elevado consumo de energia elétrica por metro quadrado, se comparada com outras tipologias. Ela possui alta potência instalada de equipamentos que funcionam continuamente e com significativa carga térmica gerada por estes mesmos equipamentos de TI.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este relatório apresenta a caracterização da tipologia de **Data Center e Centro de Processamento de Dados** 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 estimados pelo método de estimativa da planilha de auditoria energética CBCS-DEO e pela equação de *benchmark* desenvolvida.

A comparação dos consumos estimados revelou que os métodos de estimativas resultaram em valores bem próximos e que, apesar das edificações avaliadas terem tamanhos significativamente diferentes, a proporção de seus usos finais foi muito similar. Assim, edificações da tipologia de **Data Center e Centro de Processamento de Dados** apresentam usos finais de energia significativos para equipamentos de TI e sistema de condicionamento de ar, sendo os demais usos finais não relevantes. Também foi apresentado um indicador adicional de eficiência nesta tipologia de edifícios, o PUE - Efetividade de uso de potência.