



CBCS

Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

RT2B.05: Desenvolvimento de arquétipo, modelo de simulação, análise de sensibilidade e equações de *benchmark* para a 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

Roberto Lamberts

Kleber Moura

Coordenação Eletrobras/Procel: Elisete Cunha

Publicado em 18/03/2021

Relatório da atividade 2B com a finalidade de descrever o processo de desenvolvimento de arquétipo, o modelo de simulação, a análise de sensibilidade e as equações de *benchmark* para a tipologia de Shopping Center.

Sumário

Sumário	1
1. CONTEXTUALIZAÇÃO E METODOLOGIA	2
Metodologia geral adotada para o convênio	3
2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	4
3. CIDADES SELECIONADAS	5
4. DESENVOLVIMENTO DO ARQUÉTIPO	6
4.1. Volumetrias	6
4.2. Iluminação	8
4.3. Ocupação	9
4.4. Envoltória	10
4.5. Iluminação zenital	10
4.6. Equipamentos	10
4.7. Entorno e estacionamento	11
4.8. Renovação do ar interno	11
4.9. Definição da carga térmica e SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR	12
5. MODELO DE SIMULAÇÃO	13
5.1. Cenários de simulação	13
5.2. Método de análise dos resultados das simulações	14
6. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	15
6.1. ANÁLISE EM Cidades com GHR abaixo de 54 mil	15
6.2. ANÁLISE EM Cidades com GHR acima de 54 mil	16
6.3. Identificação DOS PARÂMETROS SIGNIFICATIVOS	17
7. EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	20
7.1. Cidades com GHR abaixo de 54 mil	20
7.2. Cidades com GHR acima de 54 mil	21
7.3. Avaliação entre o consumo simulado e o consumo calculado	22
8. ESCALAS DE CONSUMO DE ENERGIA	23
8.1. Método para cálculo das escalas	23
8.2. Exemplo de aplicação	24
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	25
REFERÊNCIAS	26

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.

Metodologia 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.

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.

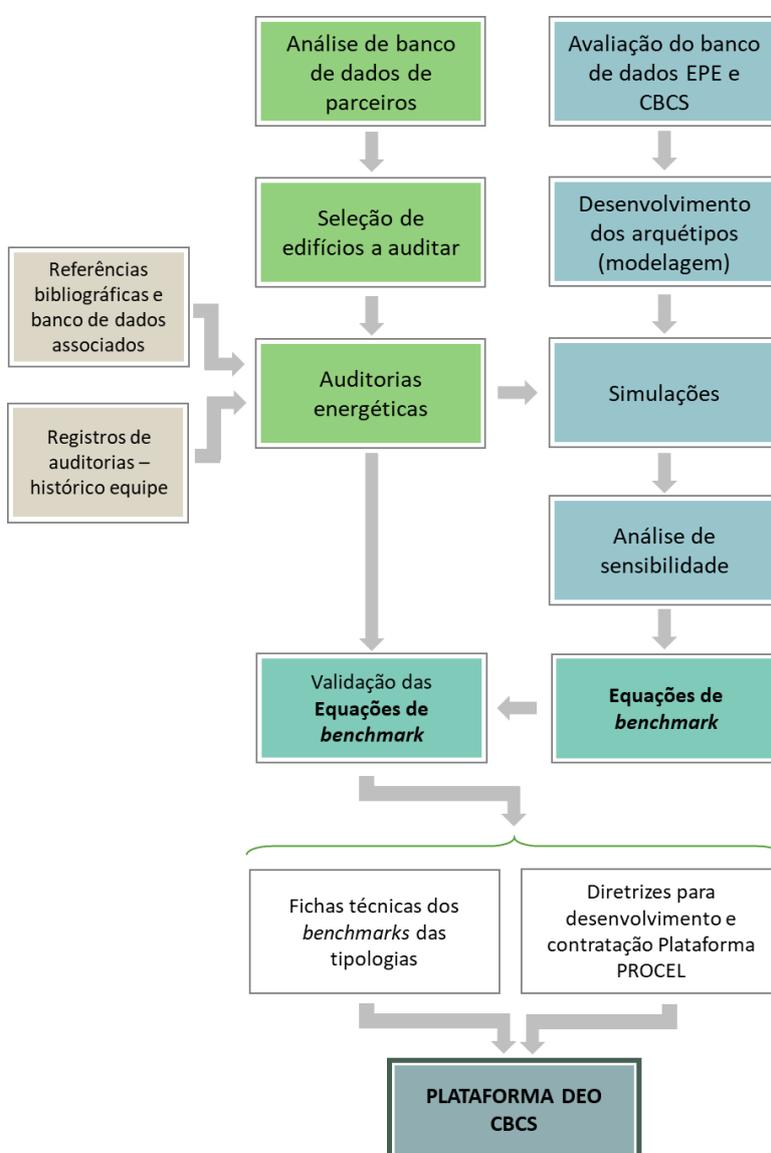


Figura 1 - Método aplicado pelo CBCS para o desenvolvimento dos benchmarks no âmbito deste convênio

2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este relatório apresenta o registro do desenvolvimento do arquétipo, modelo de simulação, análise de sensibilidade e equações de *benchmark* para a tipologia de **Shopping Center**.

Incluem-se neste relatório todos os processos, métodos e valores adotados para desenvolver o arquétipo e estabelecer os cenários de simulação. Variações nos cenários foram consideradas nos parâmetros de iluminação, abertura zenital, densidade de equipamentos, entorno, ar condicionado e renovação de ar. Uma análise de sensibilidade foi realizada com os resultados das simulações, identificando as principais variáveis relativas a esta tipologia. Então, estas variáveis preponderantes foram utilizadas – aliadas aos resultados das simulações – para construir um modelo de regressão multivariada, dando origem à equação de *benchmark* para esta tipologia. Por fim, apresenta-se a definição das escalas de consumo, que estabelecem os limites para definição do consumo operacional como eficiente, típico ou ineficiente. A Figura 2 apresenta o fluxograma das etapas conduzidas neste relatório.

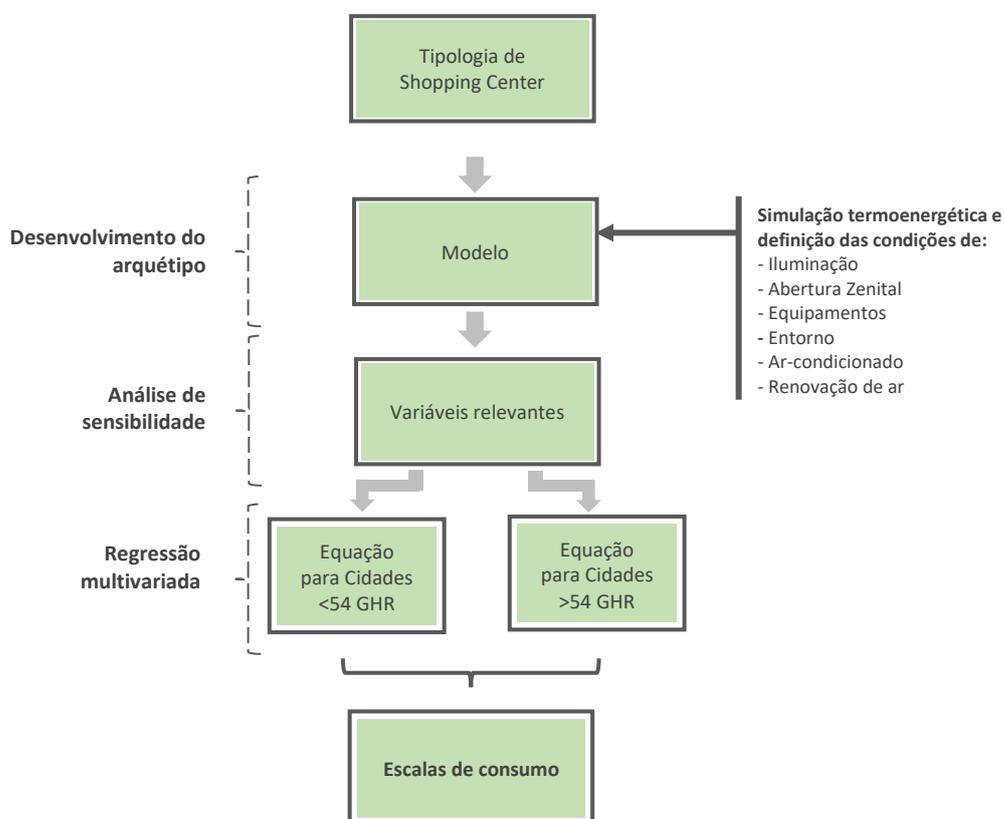


Figura 2 – Fluxograma de desenvolvimento das equações de benchmark e escalas de consumo para a tipologia de Shopping Center

3. CIDADES SELECIONADAS

O Brasil possui um grande território com ampla variação climática. Para representar esta variedade de condições climáticas e seu impacto no consumo energético das edificações, especialmente pelos sistemas de condicionamento de ar, utilizou-se uma análise do graus-hora de resfriamento (GHR) para um grupo de 413 cidades. O GHR é um indicador de desempenho térmico que representa a somatória total anual da diferença entre a temperatura operativa horária e uma temperatura de base (RTQ, 2017). Esta abordagem foi baseada na metodologia para *benchmarking* de agências bancárias, desenvolvida pelo CBCS em 2014 e publicado por Borgstein e Lamberts (2014). Neste caso, foi adotada a temperatura de base de 15°C para cálculo do GHR.

A partir da análise do GHR para as 413 cidades, foram determinadas oito faixas de GHR que variam de 10.000 em 10.000 graus-hora. Então, uma cidade populosa e com arquivo climático disponível, foi selecionada como representativa de cada faixa.

Esta estratificação foi necessária para adequar a representatividade do clima no desempenho do ar condicionado. A Tabela 1 apresenta as faixas de GHR e as cidades representativas.

Tabela 1 - Faixas de GHR e cidades representativas

Faixa de GHR	Cidade	UF	Latitude	Longitude	Altitude	GHR
entre 0 e 10.000	Campos do Jordão	SP	-22,74	-45,59	1.642	3.495
entre 10.001 e 20.000	São Paulo	SP	-23,85	-46,64	792	14.172
entre 20.001 e 30.000	Porto Alegre	RS	-30,03	-51,23	47	23.954
entre 30.001 e 40.000	Campinas	SP	-22,82	-47,06	640	31.412
entre 40.001 e 50.000	Rio de Janeiro (Vila Militar)	RJ	-22,86	-43,41	45	45.016
entre 50.001 e 60.000	Vitória	ES	-20,32	-40,34	9	54.061
entre 60.001 e 70.000	Recife	PE	-8,05	-34,88	10	63.550
entre 70.001 e 80.000	Fortaleza	CE	-3,8	-38,53	41	71.394

4. DESENVOLVIMENTO DO ARQUÉTIPO

O arquétipo é uma edificação representativa de uma tipologia, constituído de parâmetros extraídos das principais características do estoque de edificações estudado. Dessa forma, o arquétipo é uma abstração do estoque de uma tipologia de edificação sintetizado em um modelo representativo.

A tipologia de **Shopping Center** constitui-se tipicamente por edifícios de múltiplos andares composto por estabelecimentos de finalidades variadas, incluindo compras, prestação de serviços, gastronomia e lazer. Há também as áreas comuns e de apoio.

Como não há informações específicas na base de dados do Projeto META para a tipologia de **Shopping Center**, como fonte de dados foram utilizados 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. Além disso, pesquisas virtuais (por meio do *Google Street View* e *Google Maps*) foram efetuadas em diversas localidades no Brasil de forma a dar suporte para alguns entendimentos e dúvidas pontuais durante o processo.

Para a construção do *benchmarking* desta tipologia foram adotadas as seguintes condições de contorno:

- A avaliação engloba edifícios independentes, ou seja, expostos à radiação solar em todas as suas faces.
- Foi considerada a área bruta da edificação como todo o espaço interno ao edifício, independente se com ocupação permanente ou não, incluindo: circulações horizontais e verticais, praça de alimentação, cinemas e banheiros.
- Um estacionamento coberto foi considerado à parte.

Para contemplar a tipologia no âmbito do presente convênio foi definido o arquétipo que representa as áreas de uso típico da maioria destas edificações. Dessa forma, os ambientes considerados neste arquétipo são: lojas de varejo, lojas de alimentos, praça de alimentação, cinema, supermercado, administração, circulações horizontais e verticais e banheiros, além da área de estacionamento.

Nas seções seguintes, registra-se a composição das volumetrias e as variáveis que compõem o modelo de simulação.

4.1. VOLUMETRIAS

No que tange a configuração dos ambientes na edificação, a volumetria definida é constituída pela configuração física dos ambientes, conforme observado com maior frequência na prática. A Tabela 2 sintetiza os conjuntos de ambientes considerados nesta tipologia.

Tabela 2 – Áreas dos ambientes internos considerados

Ambiente	Quantidade	Área total (m ²)	Percentual na área total
Lojas de varejo	20	33052	50%
Lojas de alimentos	2	5016	8%
Praça de alimentação	1	7878	12%
Cinema	2	1560	2%
Supermercado	1	2200	3%
Administracao	1	612	1%
Circulação Horizontal	10	11590	18%
Circulação Vertical	2	540	1%
Instalação Sanitária	6	3432	5%
TOTAL	45	65880	100%

O modelo da Edificação geral foi construído com base em uma edificação de três pavimentos de dimensões 180 m x 122 m x 12 m (L x C x A), totalizando 65.880m². A Figura 3 apresenta a planta e a configuração dos ambientes considerados. A Figura 4 apresenta a volumetria e as perspectivas do modelo.

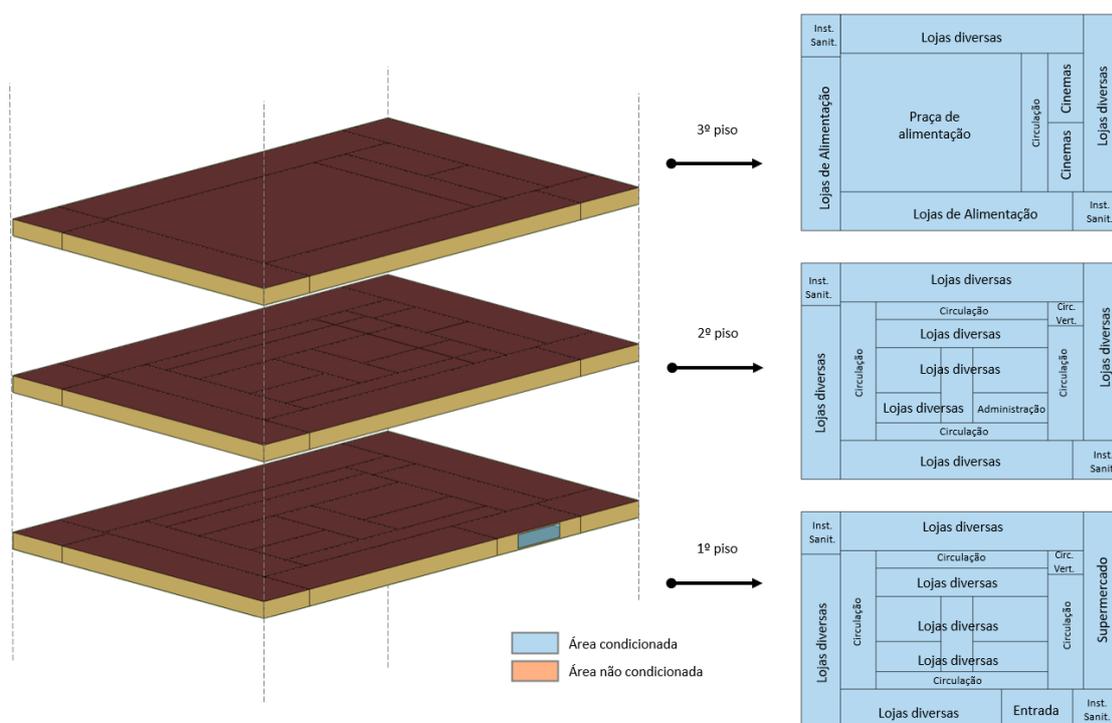


Figura 3 – Volumetria e configuração da planta do arquétipo

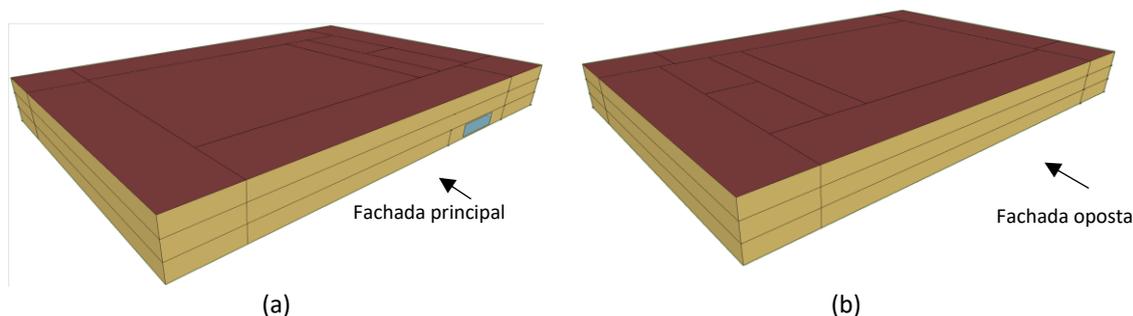


Figura 4 – Perspectiva da volumetria da edificação (a) frente e lateral esquerda e (b) fundos e lateral direita

4.2. ILUMINAÇÃO

Em relação à iluminação artificial foram definidos dois cenários: um cenário mais eficiente (ILUM02) representando as lâmpadas tipo LED com densidade média de potência de iluminação (DPI) de 20,3 W/m², e um cenário menos eficiente (ILUM01) representando as lâmpadas fluorescentes com DPI médio de 38,5W/m². Esses valores correspondem, respectivamente, a uma classe A e classe D, segundo a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas - INI-C (CB3E, 2020).

Cada tipo de ambiente possui seu próprio perfil de utilização da iluminação conforme ilustra a Figura 5.

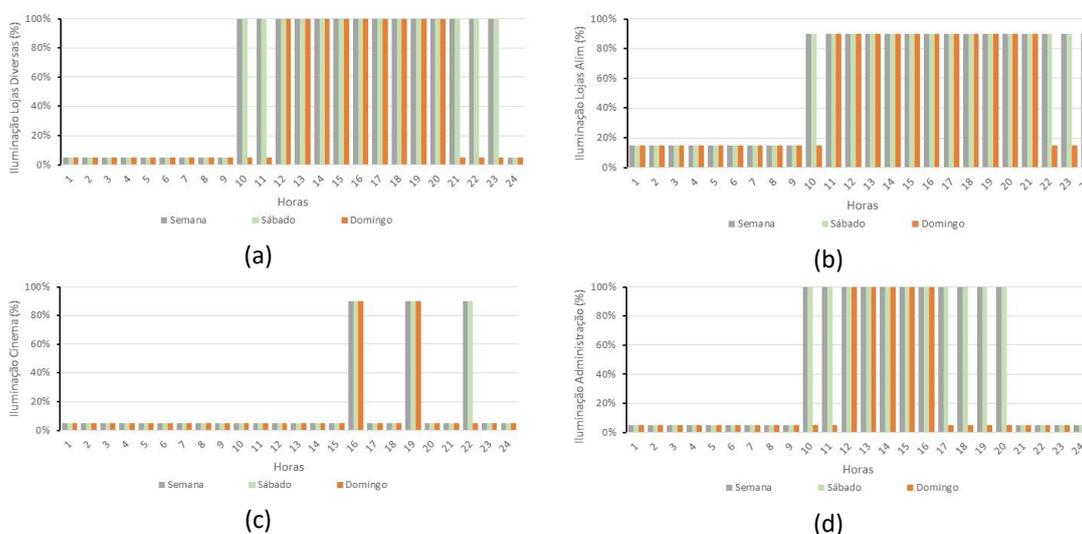


Figura 5 - Cronogramas adotado para iluminação (a) lojas diversas, (b) lojas de alimentos, (c) cinema e (d) administração

Para os ambientes do supermercado, da praça de alimentação, das circulações e das instalações sanitárias, os cronogramas de iluminação adotados seguem o mesmo perfil das lojas diversas.

4.3. OCUPAÇÃO

Os perfis de ocupação da edificação foram definidos de acordo com a utilização de cada ambiente, ilustrados na Figura 6 a seguir:

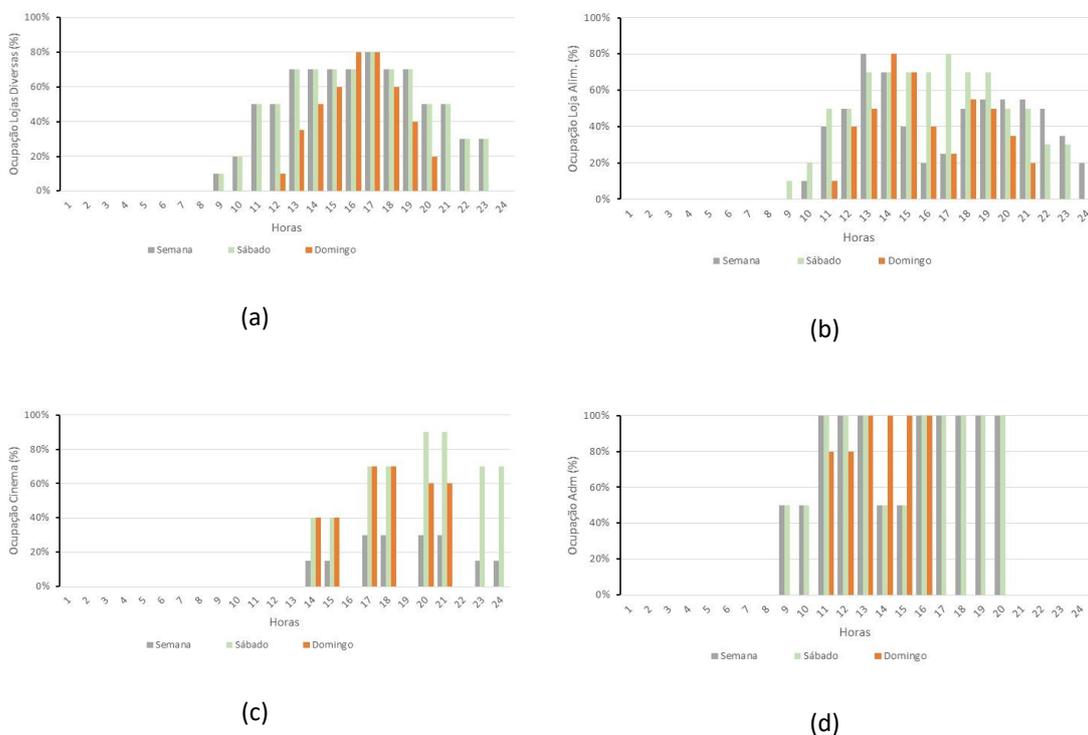
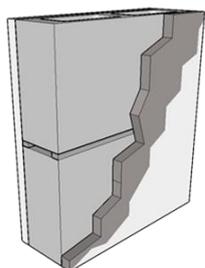


Figura 6 - Perfis de ocupação dos ambientes: (a) lojas diversas, (b) lojas de alimentos, (c) cinema e (d) administração

A simulação do supermercado, da praça de alimentação, das circulações e das instalações sanitárias seguem o mesmo perfil das lojas diversas.

4.4. ENVOLTÓRIA

Para definir os cenários que representam a eficiência da envoltória da edificação, foram adotados os elementos construtivos das paredes e coberturas representados na Figura 7, com transmitâncias térmicas de 2,53 W/m².K e 1,01 W/m².K, respectivamente. A absorptância, que está relacionada à cor da edificação, foi definida sendo predominantemente mais clara, com coeficiente de absorção de 0,3.

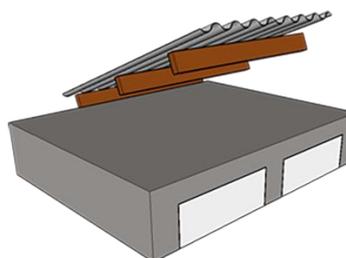


(a)

Transmitância térmica: 2,53 W/m²K

Capacidade térmica: 147 kJ/m²K

Atraso térmico: 3,1 h



(b)

Transmitância térmica: 1,01 W/m²K

Capacidade térmica: 238 kJ/m²K

Atraso térmico: 8,7 h

Figura 7 - Elementos construtivos de referência das paredes e cobertura

4.5. ILUMINAÇÃO ZENITAL

No cenário de iluminação zenital foi avaliado o ganho de calor e consequentemente o aumento no consumo de energia pelo sistema de condicionamento de ar. Os cenários avaliados foram (ZENI01) com 5% da área da cobertura envidraçada, permitindo a passagem de luz e calor, e um cenário (ZENI02) sem aberturas zenitais.

4.6. EQUIPAMENTOS

Existe uma grande variedade de lojas dentro dos shoppings centers, cada uma com uma necessidade de equipamentos elétricos distinta. A composição dos tipos de lojas em cada shopping também faz diferenciar a carga geral de equipamentos que o compõe. Para ilustrar estes casos, foram criados dois cenários para cada tipo de ambiente: um com maior densidade de equipamentos (EQUI01) com média de 12,8 W/m² e um cenário de menor densidade de equipamentos (EQUI02) média de 6,8 W/m².

Cada ambiente possui seu próprio perfil de utilização dos equipamentos conforme ilustrado na Figura 5 a seguir.

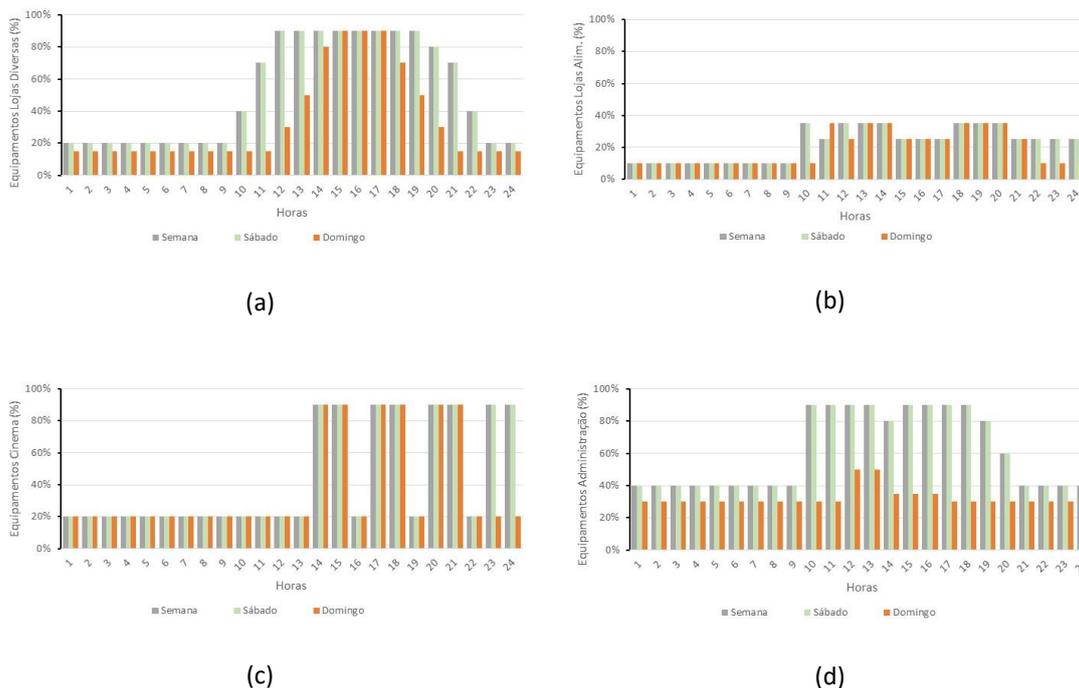


Figura 5 - Cronograma para os equipamentos elétricos: (a) lojas diversas, (b) lojas de alimentos, (c) cinema e (d) administração

Para os ambientes do supermercado, da praça de alimentação, de circulações e de instalações sanitárias, os cronogramas de equipamentos adotados seguem o mesmo perfil das lojas diversas.

4.7. ENTORNO E ESTACIONAMENTO

O uso do pavimento superior da edificação como estacionamento de veículos atua como uma barreira da edificação em relação aos efeitos do clima externo. Para ilustrar este efeito, foi criado um cenário (ENTO02) onde há um estacionamento coberto em toda a parte superior, considerando adiabáticas a cobertura da edificação e uma de suas laterais (a que dá o acesso ao estacionamento). A edificação original, sem esta proteção do estacionamento na cobertura constitui o outro cenário (ENTO01).

Para o consumo de energia do estacionamento foi considerada uma densidade de potência de iluminação de 1,615W/m² e uma vazão de ar de 1,52L/s.m² durante todo o período que há alguma ocupação no interior do shopping.

4.8. RENOVAÇÃO DO AR INTERNO

A renovação de ar em ambientes condicionados artificialmente é obrigatória pela Lei 13.589/18, com valores definidos na norma técnica ABNT NBR 16401-3. Entretanto é comum encontrar na prática edificações que não contam com tal sistema de renovação de ar e por vezes, quando possuem, não operam adequadamente. Dessa forma, foram considerados dois cenários: para os ambientes das lojas, o cenário RENO01, com maior taxa de renovação de ar e atendendo o nível 3 da norma (5,7 L/s.pessoa mais uma parcela de 0,9 L/s.m² de acordo com a área condicionada); e um outro cenário RENO02 correspondendo ao nível 1 da norma, com menor intensidade (3,8 L/s.pessoa e 0,6 L / s.m² de área condicionada); e, para os demais ambientes, a norma ABNT NBR 16401-3 recomenda diferentes vazões para a taxa de renovação de ar, resultando em aproximadamente 2,51 L/s.m² para o cenário RENO01, já considerando a ocupação dos ambientes, e média de 1,66 L/s.m² para o cenário RENO02.

4.9. DEFINIÇÃO DA CARGA TÉRMICA E SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR

Uma etapa preliminar de simulação termoenergética do arquétipo foi realizada, utilizando o ambiente de simulação *EnergyPlus*, versão 9.2. O modelo foi simulado utilizando arquivos climáticos do tipo INMET¹ para as oito cidades representativas. Essa etapa preliminar de simulação foi feita considerando diversas combinações de todos os cenários de variáveis que contribuem para carga interna (ou seja, vários tipos de iluminação, diversos turnos, diversos sombreamentos, todas as orientações, entre outros).

A partir dessa etapa de simulação preliminar, foram identificados os cenários nos quais as variáveis mais impactaram os resultados de carga térmica total da simulação. Então, uma segunda rodada de simulação foi realizada, considerando apenas esse cenário único (Tabela 3). O objetivo dessa segunda rodada de simulações preliminares foi identificar a carga térmica de resfriamento (em Toneladas de Resfriamento, TR) para cada cidade representativa.

Tabela 3 – Cenários considerados para cálculo de carga térmica

Variável	Cenário
Iluminação	ILUM01
Equipamento	EQUI01
Iluminação zenital	ZENI01
Entorno	ENTO01
Renovação do ar interno	RENO01

Nas simulações da segunda rodada preliminar foram consideradas a vazão de ar, a capacidade de refrigeração e aquecimento no modo *autosize*, com um superdimensionamento de 25% no modo aquecimento e de 15% no modo refrigeração. A eficiência dos equipamentos de ar condicionado foi mantida com o padrão do *EnergyPlus* (3 W/W no modo de refrigeração e 2,75 W/W no modo de aquecimento). Com relação à eficiência dos ventiladores, utilizaram-se os coeficientes para vazão constante ($P [kW] = \text{vazão [l/s]} \times 0,0017$), e para vazão variável ($P [kW] = \text{vazão [l/s]} \times 0,0024$), conforme recomendação da ASHRAE 90.1-2010 (ASHRAE, 2011).

Após as simulações, selecionou-se a cidade com maior carga térmica para o dimensionamento do sistema de condicionamento de ar do arquétipo. Esta seleção foi feita com base em equipamentos existentes no mercado, sendo escolhido o equipamento de capacidade superior a carga térmica definida. O equipamento foi modelado na simulação termoenergética do arquétipo.

Esta abordagem foi adotada com a finalidade de simular um sistema real e existente no mercado, sendo definidas e fixadas no modelo de simulação as características do sistema, como: capacidade de refrigeração, eficiência de refrigeração, capacidade de aquecimento, eficiência de aquecimento, vazão e potência do ventilador. Dessa forma, o arquétipo pode representar de forma mais realista o que ocorre no estoque real de edificações – diferentemente do que aconteceria se fosse utilizada uma simulação no modo *autosize* em todos os casos, o que supriria a demanda de carga térmica, variando os parâmetros do sistema.

A Tabela 4 apresenta a carga térmica para as 8 cidades selecionadas como representativas e a cidade selecionada para dimensionamento do sistema.

¹ Disponível em: http://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/BRA_Brazil/index.html

Tabela 4 – Carga térmica por cidade representativa

Cidade	UF	Zona Biolimática	Carga Térmica (TR)
Campos do Jordão	SP	1	3883
São Paulo	SP	3	3785
Porto Alegre	RS	3	4675
Campinas	SP	3	3870
Rio de Janeiro (Vila Militar)	RJ	8	4806
Vitória	ES	8	4840
Recife*	PE	8	5300
Fortaleza	CE	8	4715

* Cidade selecionada

Percebe-se que, dentre as cidades selecionadas como representativas, a cidade com maior carga térmica foi Recife, com 5300 TR. Dessa forma, o arquivo climático de Recife foi selecionado como referência para dimensionamento do sistema de condicionamento de ar considerado no arquétipo.

Para o ar condicionado foram considerados dois cenários com sistemas centrais de água gelada nas simulações. Um com condensação a ar com COP de 2,99 W/W e o outro com condensação a água e COP de 4,70 W/W.

5. MODELO DE SIMULAÇÃO

5.1. CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

As simulações foram realizadas utilizando-se uma abordagem paramétrica, considerando as variações dos cenários apresentados e as oito cidades representativas (capítulo 3). No total, 512 casos foram simulados. Foi utilizado o programa de simulação *EnergyPlus* (versão 9.2). Os resultados das simulações foram compilados em um banco de dados com os consumos anuais totais e consumos desagregados por uso final. A Tabela 5 apresenta a síntese das características dos cenários adotados nas simulações termoenergéticas para esta tipologia.

Tabela 5 – Cenários adotados para as simulações

Variável	Cenário	Dado utilizado
Iluminação	ILUM01	Iluminação com DPI PBE classe D (38,5 W/m ²)
	ILUM02	Iluminação com DPI PBE classe A (20,3 W/m ²)
Equipamento	EQUI01	Maior densidade de equipamentos (12,8 W/m ²)
	EQUI02	Menor densidade de equipamentos (6,8 W/m ²)
Iluminação zenital	ZENI01	Abertura envidraçada em 5% da cobertura
	ZENI02	Sem abertura
Entorno	ENTOO1	Sem estacionamento na cobertura, laje exposta
	ENTOO2	Estacionamento no piso superior
AVAC	Chiller a ar	Central de água gelada condensado a ar
	Chiller a água	Central de água gelada condensado a água
Renovação do ar interno	RENO01	Nível 3 da ABNT NBR 16401-3
	RENO02	Nível 1 da ABNT NBR 16401-3

5.2. MÉTODO DE ANÁLISE DOS RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

As análises e equações foram divididos em dois grupos: 1- para cidades que apresentam Graus-Dia de Aquecimento (GDA) e conseqüentemente consumo com aquecimento e Graus-Hora de Resfriamento (GHR); 2- para cidades que só apresentam Graus-Hora de Resfriamento (GHR).

No primeiro grupo inseriu-se as cidades que apresentaram algum GDA. Nesse caso, as cidades possuem no máximo cerca de 54.000 GHR. No segundo grupo, inseriu-se as cidades que apresentam mais de 54.000 GHR. A Tabela 6 apresenta as cidades e seus grupos.

Tabela 6 – Graus-Hora de Resfriamento (GHR) para as cidades adotadas.

Cidade	UF	Latitude	Longitude	Altitude	GHR	Grupo
Campos do Jordão	SP	-22,74	-45,59	1.642	3.495	
São Paulo	SP	-23,85	-46,64	792	14.172	<54.000 GHR
Porto Alegre	RS	-30,03	-51,23	47	23.954	
Campinas	SP	-22,82	-47,06	640	31.412	
Rio de Janeiro (Vila Militar)	RJ	-22,86	-43,41	45	45.016	
Vitória	ES	-20,32	-40,34	9	54.061	>54.000 GHR
Recife	PE	-8,05	-34,88	10	63.550	
Fortaleza	CE	-3,8	-38,53	41	71.394	

Duas análises principais foram realizadas: (a) efeito de cada parâmetro no consumo de energia (*main effects plot for total end uses*); e (b) interação entre os parâmetros (*interaction plot for total end use*).

A partir da análise do efeito do parâmetro no consumo de energia foram escolhidos aqueles com o maior impacto no consumo de energia. Esses parâmetros serviram como fatores no modelo estatístico de regressão multivariada para o desenvolvimento da equação de regressão.

6. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Os resultados das simulações foram utilizados na análise de sensibilidade, com o objetivo de identificar os impactos dos diferentes parâmetros no consumo energético total do modelo.

O objetivo da análise de sensibilidade é quantificar a influência dos parâmetros no modelo e, a partir daqueles mais significativos, utilizá-los na modelagem estatística da equação de *benchmark*. Utilizou-se como critério para definir se um parâmetro teve impacto ou não no consumo final, se a alteração desta foi maior ou igual a 10%. Por exemplo, se a variação de um parâmetro causou uma variação no resultado da simulação maior que 10%, esse parâmetro foi considerado significativo.

É importante mencionar que os parâmetros que os usuários tenham dificuldade para levantar ou identificar, ou que tenham pouco impacto no consumo final da edificação, não foram considerados nas equações. Essa definição é importante para tornar o uso da ferramenta de *benchmarking* fácil e acessível.

Os parâmetros analisados foram: iluminação (ILUM), equipamentos (EQUI), iluminação zenital (ZENI), entorno (ENTO), tipo de sistema de condicionamento de ar (AVAC) e renovação do ar interno (RENO). Além disso, a carga térmica, influenciada pela cidade (GHR, GDA) também foi um parâmetro analisado.

Assim, para as equações de *benchmark*, foram considerados somente os parâmetros cuja variação apresentou impacto significativo no consumo energético total do edifício. Esses parâmetros podem apresentar um consumo direto, por meio do seu uso efetivo (potência e funcionamento), ou um consumo indireto, por exemplo, a carga térmica interna gerada no uso dos ambientes aumenta a necessidade de funcionamento do ar condicionado para manter as condições locais de conforto.

6.1. ANÁLISE EM CIDADES COM GHR ABAIXO DE 54 MIL

Pelos gráficos das Figura 6 e Figura 7, verifica-se que os parâmetros com variações mais significativas são o GHR, GDA, ILUM e EQUI. As variações dos parâmetros ZENI, ENTO, AVAC e RENO tiveram um impacto pequeno no cálculo do consumo de energia. Sendo assim, essas são retiradas das análises da equação de regressão dos Shoppings Centers para GHR abaixo de 54 mil.

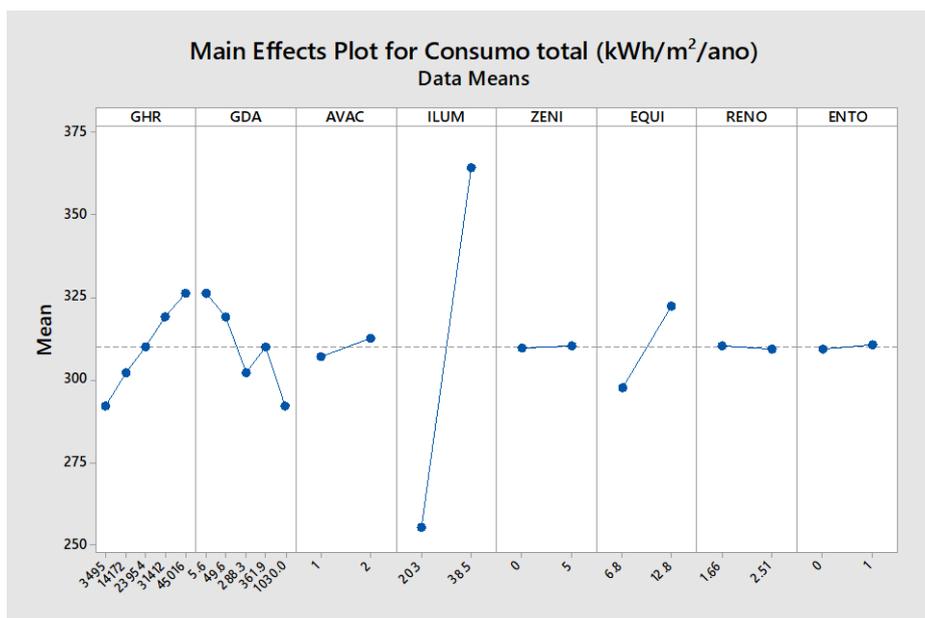


Figura 6 - Efeito dos parâmetros no consumo de energia

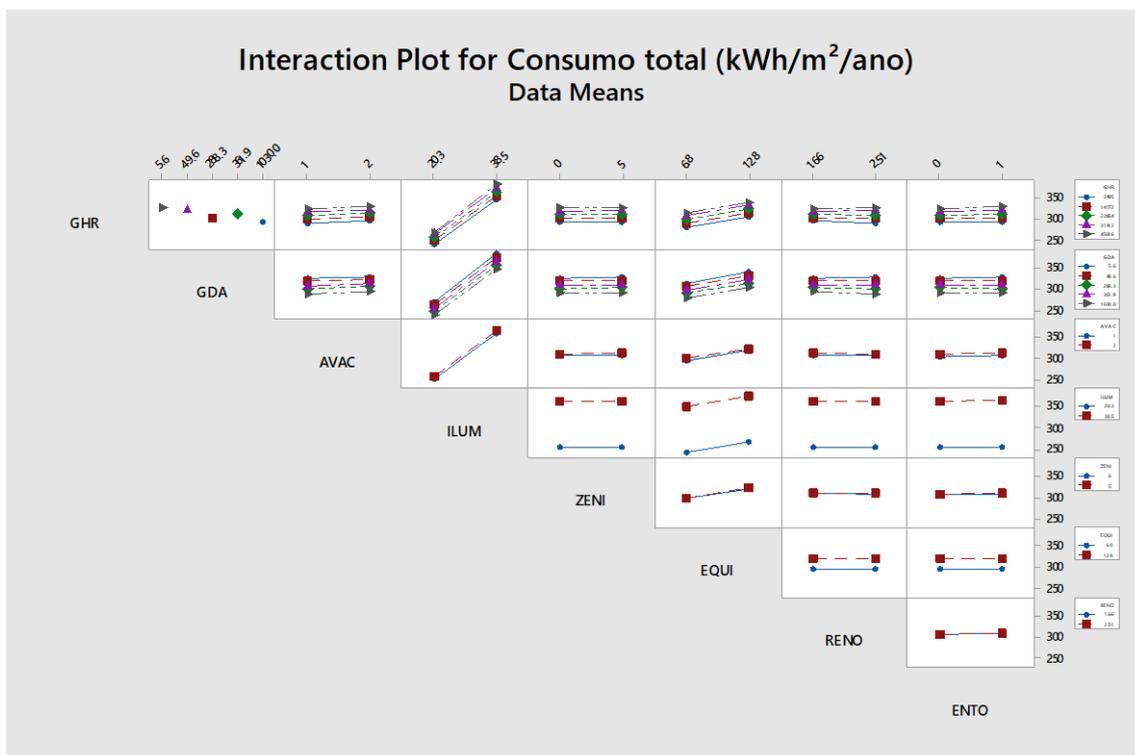


Figura 7 - Interação entre os parâmetros

6.2. ANÁLISE EM CIDADES COM GHR ACIMA DE 54 MIL

Pelos gráficos das Figura 8 e Figura 9, verifica-se que os parâmetros com variações mais significativas são o GHR, ILUM, EQUI e ENTO. As variações dos parâmetros ZENI, AVAC e RENO tiveram um impacto pequeno no cálculo do consumo de energia. Sendo assim, essas são retiradas das análises da equação de regressão dos Shoppings Centers para GHR acima de 54 mil.

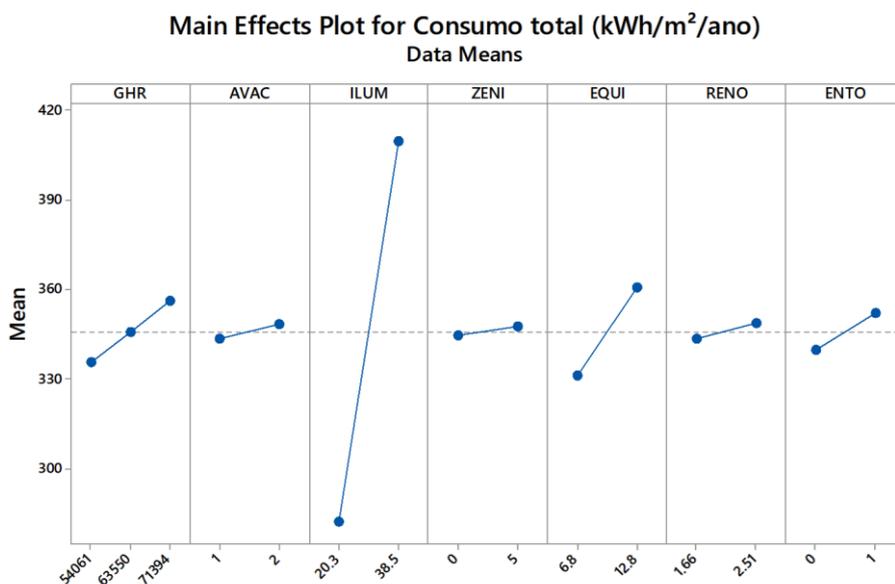


Figura 8 - Efeito dos parâmetros no consumo de energia

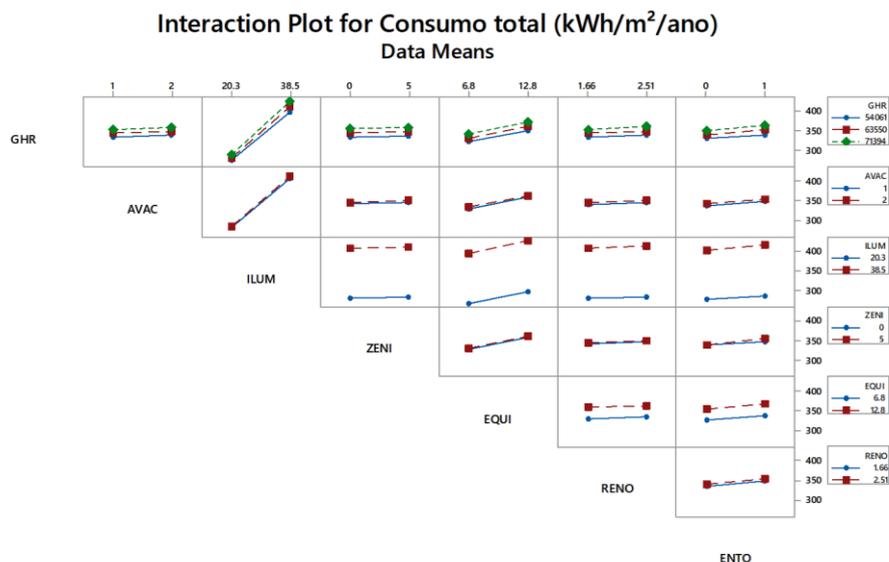


Figura 9. Interação entre os parâmetros

6.3. IDENTIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS SIGNIFICATIVOS

Uma vez identificados os parâmetros que apresentaram maior impacto no consumo anual de energia desta tipologia, verificou-se o percentual de variação que uma alteração nesses parâmetros causa no resultado final da simulação. Foram eles: GHR, GDA, ILUM, EQUI e ENTO

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** ilustra a variação no consumo de energia elétrica pelo sistema de condicionamento de ar em função da densidade de potência de iluminação instalada. Além do impacto no consumo de energia no sistema AVAC, este parâmetro tem impacto significativo no consumo de energia da edificação como um todo e por isso será utilizado para balizar a eficiência energética do usuário final na equação de *benchmark*.

Tabela 7 – Impacto do sistema de iluminação no consumo do sistema de condicionamento de ar

Modelo base	AVAC:	Chiller condensado a ar	
	Iluminação:	Parâmetro analisado	
	Equipamentos:	Densidade de 12,8 W/m ²	
	Zenital:	Sem abertura zenital	
	Entorno:	Fachadas expostas ao ambiente externo	
	Renovação de ar:	Nível 3 da ABNT NBR 16401-3	
Cidade	Consumo anual de energia [kWh/m²]		Varição no consumo de AVAC
	Parâmetro analisado: Iluminação		
	PBE classe D	PBE classe A	
Campos do Jordão	110,1	94,2	-14,4%
São Paulo	121,9	107,8	-11,6%
Porto Alegre	134,9	114,9	-14,8%
Campinas	146,7	126,1	-14,1%
Rio de Janeiro (Vila Militar)	157,3	132,4	-15,8%
Vitória	171,0	141,2	-17,4%
Recife	190,1	150,8	-20,7%
Fortaleza	205,0	158,5	-22,7%

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** ilustra a variação no consumo de energia elétrica no sistema de condicionamento de ar em função da variação da densidade de potência de equipamentos instalada. Além do consumo próprio de energia, tais equipamentos também impactam na carga térmica a ser resolvida pelos sistemas AVAC e, portanto, este será um parâmetro de entrada que irá balizar o consumo de energia na equação de *benchmarking*.

Tabela 8 - Impacto dos equipamentos elétricos no consumo do sistema de condicionamento de ar

Modelo base	AVAC:	Chiller condensado a água	
	Iluminação:	PBE classe D (38,5W/m ²)	
	Equipamentos:	Parâmetro analisado	
	Zenital:	Sem abertura zenital	
	Entorno:	Cobertura e uma das fachadas laterais adiabáticas	
	Renovação de ar:	Nível 1 da ABNT NBR 16401-3	
Cidade	Consumo anual de energia [kWh/m²]		Variação no consumo de AVAC
	Parâmetro analisado: Equipamentos		
	12,8 W/m ²	6,8 W/m ²	
Campos do Jordão	121,7	119,7	-1,7%
São Paulo	129,1	126,1	-2,3%
Porto Alegre	138,8	134,1	-3,4%
Campinas	147,7	141,3	-4,4%
Rio de Janeiro (Vila Militar)	155,5	147,4	-5,2%
Vitória	167,6	156,8	-6,5%
Recife	180,3	164,4	-8,8%
Fortaleza	197,4	179,4	-9,1%

A condição do entorno também pode proporcionar variações no consumo de energia por parte do sistema de condicionamento de ar em uma instalação. Ao reduzir a exposição da edificação ao clima externo, pode-se aumentar o consumo do sistema AVAC no caso de regiões mais frias e reduzir o consumo em regiões mais quentes, com pode ser observado na Tabela 9 a seguir.

Tabela 9 – Impacto das condições do entorno no consumo do sistema de condicionamento de ar

Modelo base	AVAC:	Chiller condensado a ar	
	Iluminação:	PBE classe D (38,5W/m ²)	
	Equipamentos:	Densidade de 12,8W/m ²	
	Zenital:	Sem abertura	
	Entorno:	Parâmetro analisado	
	Renovação de ar:	Nível 3 da ABNT NBR 16401-3	
Cidade	Consumo anual de energia [kWh/m ²]		Variação no consumo de AVAC
	Parâmetro analisado: Entorno		
	Cobertura exposta	Cobertura adiabática	
Campos do Jordão	110,1	112,3	2,0%
São Paulo	121,9	123,2	1,1%
Porto Alegre	134,9	133,8	-0,8%
Campinas	146,7	146,6	-0,1%
Rio de Janeiro (Vila Militar)	157,3	153,1	-2,7%
Vitória	171,0	165,4	-3,3%
Recife	190,1	176,8	-7,0%
Fortaleza	205,0	195,4	-4,7%

7. EQUAÇÃO DE REGRESSÃO

Para o desenvolvimento das equações para predição do consumo de energia da tipologia de **Shopping Center**, utilizou-se um modelo estatístico de regressão linear multivariada. Para teste da qualidade do modelo, avaliou-se o coeficiente de determinação (R^2). Quanto mais próximo de 1,00, mais o modelo consegue prever valores próximos aos valores utilizados para construí-lo.

A regressão linear multivariada resulta em uma equação, na qual a variável resposta (ou dependente) é o consumo de energia da edificação e as variáveis explicativas (ou independentes) são os parâmetros utilizados para construir o modelo. Para realizar as análises apresentadas neste capítulo foi utilizada a metodologia de regressão linear múltipla, realizada por meio do *software Minitab*.

O modelo estatístico do *benchmarking* foi segmentado em cidades com necessidade tanto de aquecimento (GHR menores que 54.000) quanto resfriamento ambiental e aquelas com demanda apenas de resfriamento (GHR maiores ou iguais a 54.000). Em suma, foram construídas 2 equações para esta tipologia.

7.1. CIDADES COM GHR ABAIXO DE 54 MIL

Análise dos parâmetros

Candidate terms: logGHR, logGDA, ILUM, EQUI

	-----Step 1-----		-----Step 2-----		-----Step 3-----		-----Step 4-----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constant	133.66		93.40		-32.70		31.65	
ILUM	5.995	0.000	5.9951	0.000	5.9951	0.000	5.9951	0.000
EQUI			4.108	0.000	4.108	0.000	4.1079	0.000
logGHR					29.706	0.000	17.97	0.000
logGDA							-6.942	0.000
S	17.8069		12.8363		5.60092		4.63135	
R-sq	90.43%		95.04%		99.06%		99.36%	
R-sq(adj)	90.40%		95.01%		99.05%		99.35%	
R-sq(pred)	90.31%		94.95%		99.03%		99.34%	
Mallows' Cp	4384.96		2121.15		150.16		5.00	

α to enter = 0.15, α to remove = 0.15

Análise de variância

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	4	1046481	261620	12197.09	0.000
logGHR	1	5011	5011	233.61	0.000
logGDA	1	3156	3156	147.16	0.000
ILUM	1	952404	952404	44402.41	0.000
EQUI	1	48600	48600	2265.82	0.000
Error	315	6757	21		
Lack-of-Fit	15	2419	161	11.15	0.000
Pure Error	300	4337	14		
Total	319	1053237			

Resumo do Modelo

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
4.63135	99.36%	99.35%	99.34%

EQUAÇÃO FINAL PARA CIDADES COM GHR ABAIXO DE 54 MIL

$$\text{Consumo total (kWh/m}^2\text{/ano)} = (((31,65 + 17,97 \cdot \log\text{GHR} - 6,942 \cdot \log\text{GDA} + 5,9951 \cdot \text{ILUM} + 4,1079 \cdot \text{EQUI}) \cdot \text{ÁREA}_{\text{SHOPPING}}) + (10,19 \cdot \text{ÁREA}_{\text{ESTACIONAMENTO}})) / \text{ÁREA}_{\text{TOTAL}}$$

Onde:

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 potência de equipamentos instalados (W/m²)

ÁREA_{SHOPPING} – Área interna destinada a compras e circulação

ÁREA_{ESTACIONAMENTO} – Área coberta destinada ao estacionamento de carros

ÁREA_{TOTAL} – Soma das áreas de shopping e de estacionamento coberto

7.2. CIDADES COM GHR ACIMA DE 54 MIL

Análise dos parâmetros

Candidate terms: logGHR, ILUM, EQUI, ENTO

	-----Step 1-----		-----Step 2-----		-----Step 3-----		-----Step 4-----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constant	140.49		91.81		-722.5		-728.5	
ILUM	6.988	0.000	6.9883	0.000	6.9883	0.000	6.9883	0.000
EQUI			4.968	0.000	4.968	0.000	4.968	0.000
logGHR					169.8	0.000	169.77	0.000
ENTO							12.079	0.000
S		19.3631		12.2978		8.93563		6.54382
R-sq		91.60%		96.63%		98.23%		99.06%
R-sq(adj)		91.55%		96.59%		98.20%		99.04%
R-sq(pred)		91.42%		96.52%		98.16%		99.00%
Mallows' Cp		1475.56		481.51		166.55		5.00

α to enter = 0.15, α to remove = 0.15

Análise de variância

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	4	839694	209924	4902.28	0.000
logGHR	1	13573	13573	316.96	0.000
ILUM	1	776466	776466	18132.56	0.000
EQUI	1	42653	42653	996.05	0.000
ENTO	1	7003	7003	163.55	0.000
Error	187	8008	43		
Lack-of-Fit	19	3391	178	6.49	0.000
Pure Error	168	4617	27		
Total	191	847702			

Resumo do Modelo

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
6.54382	99.06%	99.04%	99.00%

EQUAÇÃO FINAL PARA CIDADES COM GHR ACIMA DE 54 MIL

$$\text{Consumo total (kWh/m}^2\text{/ano)} = (((-728,5 + 169,77 \cdot \log \text{GHR} + 6,9883 \cdot \text{ILUM} + 4,968 \cdot \text{EQUI} + 12,079 \cdot \text{ENTO}) \cdot \text{ÁREA SHOPPING}) + (10,19 \cdot \text{ÁREA ESTACIONAMENTO})) / \text{ÁREA TOTAL}$$

Onde:

GHR – Graus-hora de resfriamento da cidade onde se localiza a edificação

ILUM – Densidade de potência de iluminação instalada (W/m²)

EQUI – Densidade de potência 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

ÁREA_{ESTACIONAMENTO} – Área coberta destinada ao estacionamento de carros

ÁREA_{TOTAL} – Soma das áreas de shopping e de estacionamento coberto

7.3. AVALIAÇÃO ENTRE O CONSUMO SIMULADO E O CONSUMO CALCULADO

A partir das equações desenvolvidas, foram utilizadas as características de cada modelo e calculado o consumo de energia da edificação. Esse consumo de energia foi comparado com o consumo de energia obtido a partir da simulação computacional e verificada a diferença entre eles.

A Figura 10 apresenta os valores obtidos por meio da equação e por simulação computacional. Objetiva-se verificar a aderência dos pontos na bissetriz do gráfico. Quanto mais aderentes os pontos à bissetriz, melhor a equação consegue representar os valores simulados. A equação presente no gráfico representa esta aderência, apresentando um coeficiente de determinação de 99,28%, logo a equação de *benchmark* tem boa representatividade do modelo para a tipologia de **Shopping Center**.

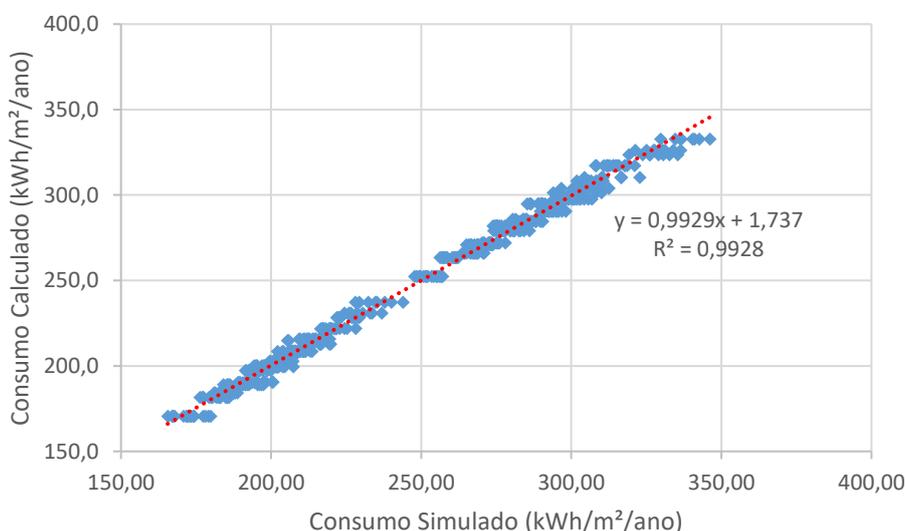


Figura 10 – Gráfico entre o consumo simulado e calculado

8. ESCALAS DE CONSUMO DE ENERGIA

8.1. MÉTODO PARA CÁLCULO DAS ESCALAS

A classificação da eficiência da edificação analisada é feita por meio da comparação entre o consumo operacional da edificação e as escalas de consumo. As escalas de consumo foram definidas a partir dos parâmetros cujas variações representaram impactos significativos na equação de *benchmark* para esta tipologia, identificados e descritos nos capítulos anteriores deste relatório.

Os parâmetros considerados para esta tipologia e que serão inseridos na plataforma de cálculo de *benchmark* são apresentados na classificação da eficiência da edificação analisada é feita por meio da comparação entre o consumo operacional da edificação e escalas de consumo. As escalas de consumo são definidas a partir de variáveis que representam impactos significativos na equação de *benchmark* para esta tipologia, identificadas e descritas nos capítulos anteriores deste relatório. As variáveis consideradas para esta tipologia, e que devem ser inseridas na plataforma de cálculo de benchmark são apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10 – Parâmetros para Escala de Consumo de Energia em função do GHR

Parâmetro	Parâmetros significativos de acordo com a cidade	
	GHR < 54mil	GHR ≥ 54mil
Cidade		
Iluminação	W/m ²	X
Entorno	-	X
Equipamentos	W/m ²	X

A escala de eficiência é definida por meio do cálculo dos consumos máximo e mínimo, determinados a partir das informações da edificação em análise, considerando o cenário base utilizado para o desenvolvimento da equação de *benchmark*. A Tabela 11 apresenta a definição do cenário utilizado para determinar os consumos mínimos e máximos para esta tipologia.

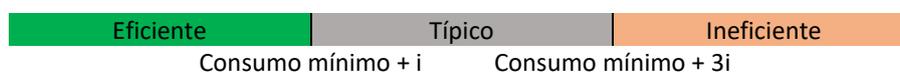
Tabela 11 - Cenários para o cálculo de consumo mínimo e máximo para a tipologia de Shopping Center

Parâmetros	Limites	Limites
	Mínimos	Máximos
Cidade	GHR	Parâmetro fixo
	GDA	
Iluminação	W/m ²	20,3
Entorno	-	38,5
Equipamentos	W/m ²	Parâmetro fixo
		6,8
		12,8

Portanto, a partir da entrada de dados da edificação em análise no cenário de base, a equação de benchmark calcula os consumos máximos e mínimos específicos para a condição da edificação em análise.

A faixa de consumo típico é obtida a partir da variável do cálculo posto a seguir, que considera como limite inferior o consumo mínimo acrescido de um coeficiente “i”, e o limite superior, como sendo o consumo mínimo acrescido de três vezes o fator “i”. Dessa forma, a escala é definida, identificando as faixas de consumo consideradas para edificações eficientes, típicas e ineficientes.

$$i = \frac{\text{consumo máximo da edificação} - \text{consumo mínimo da edificação}}{5}$$



8.2. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Para exemplificar a aplicação deste método e calcular as escalas de consumo de uma edificação, será apresentado o cálculo para um Shopping Center localizado na cidade de Campo Grande - MS, com GHR = 33024, GDA = 51, DPI de 9,13 W/m² e potência dos equipamentos de 17,09 W/m². A área do shopping é de 108.380,7m² e do estacionamento de 59.970.06m². **O consumo calculado previsto é de 149,06 kWh/m²/ano.**

Realizando o cálculo do consumo deste Shopping Center nos cenários de consumo mínimo e consumo máximo, obtém-se os limites indicados na Tabela 12.

Tabela 12 - Exemplo de Escala de Eficiência – Shopping Center em Campo Grande -MS

		Previsão de consumo de energia	Mínimo	Máximo
VARIÁVEIS	ILUMINAÇÃO	DPI (W/m ²)	20,3	38,5
	EQUIPAMENTOS	W/m ²	6,8	12,8
FIXOS	CAMPO GRANDE - MS	GHR=33024 GDA=51	Consumo geral: 164,98 [kWh/m²/ano]	Consumo geral: 251,09 [kWh/m²/ano]

Então, a partir destes limites calculados, as faixas de consumo eficiente, típico e ineficiente para o cenário descrito são apresentadas a seguir:

$$i = \frac{164,98 - 251,09}{5} = 17,2$$



Considera-se nesse exemplo, portanto, que a edificação analisada apresenta consumo operacional inferior ao consumo mínimo da faixa típica (**149,06 < 182,20 kWh/m²/ano**), sendo classificada como eficiente.

As escalas de eficiência são ferramentas importantes para a aplicação das equações de *benchmark*, uma vez que permitem a comparação de dados reais de edificações com suas faixas de consumo, viabilizando tanto a detecção de ineficiências quanto a determinação de metas de melhores práticas.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este relatório apresentou o registro do desenvolvimento do arquétipo, modelo de simulação, análise de sensibilidade e equações de *benchmark* para a tipologia de **Shopping Center**.

Os parâmetros com maior impacto no consumo de energia desta tipologia foram: graus-hora de resfriamento (GHR); graus-dia de aquecimento (GDA); iluminação (ILUM); equipamentos (EQUI); e condições do entorno (ENTO). As variações de abertura zenital, tipo de ar condicionado e renovação de ar interno na edificação não apresentaram impacto significativo no consumo final e, portanto, não foram incluídas na equação de *benchmark* proposta para esta tipologia.

A variação do parâmetro AVAC, referente ao tipo de sistema de condicionamento de ar, não tem impacto no consumo final. No entanto, o consumo pelo sistema de condicionamento de ar é relevante e a variação deste uso final ocorre em função dos parâmetros GHR e GDA, os quais representam as variações do clima da cidade em que a edificação se localiza. Por esta razão, para a tipologia de Shopping Center há duas equações que consideram as correlações das equações de regressão das diferentes cidades.

A iluminação artificial além do impacto direto no consumo geral da edificação, têm impacto no consumo do ar condicionado uma vez que parte da energia consumida pelas lâmpadas é dissipada na forma de calor. Logo, quanto maior a densidade de potência de iluminação instalada maior será o consumo para resfriamento.

Assim como para a iluminação, a densidade de equipamentos instalada, além do consumo próprio, também dissipa calor para o ambiente e impacta no consumo do sistema de condicionamento de ar.

As condições do entorno também proporcionam variações no consumo do sistema de condicionamento de ar e possuem efeitos distintos entre as regiões de clima quente, onde a barreira de um estacionamento em sua cobertura reduz o consumo de energia para resfriamento e, em regiões de clima frio, tem-se o efeito de aumento no consumo de energia por diminuir a troca de calor com o ambiente externo.

Com a previsão do consumo de energia em relação ao consumo simulado, verificou-se que as equações têm um R^2 de 99,28%, logo os modelos regressivos empregados foram representativos para prever o consumo de energia para a tipologia de **Shopping Center**.

A Tabela 13 resume os parâmetros estudados e identifica os considerados significativos para o desenvolvimento das equações de *benchmark* para esta tipologia.

Tabela 13 - Parâmetros analisados e sua relevância para a equação de benchmark da tipologia de Shopping Center.

Parâmetros analisadas	Parâmetros na equação para GHR < 54 mil	Parâmetros na equação para GHR > 54 mil
Clima GHR	✓	✓
Clima GDA	✓	
Iluminação	✓	✓
Equipamentos	✓	✓
Entorno		✓
AVAC		
Renovação de ar		
Abertura zenital		

REFERÊNCIAS

- ASHRAE Procedures for Commercial Building Energy Audits, second edition, ASHRAE 2011.
- ASHRAE Standard 90.4P, Proposed Energy Standard for Data Centers and Telecommunications Buildings, public review. 2015.
- Borgstein, E. H., and R. Lamberts - Developing energy consumption benchmarks for buildings: Bank branches in Brazil. *Energy and Buildings* 82 (2014) 82–91.
- Borgstein, E.H. - Energia primária em edifícios no Brasil, *Revista Sistemas Prediais, Engenharia e Arquitetura*, January 2014.
- CB3E - Proposta de método para a avaliação da eficiência energética com base em energia primária de edificações comerciais, de serviços e públicas. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações, agosto 2017.
- CBCS - Comunicação técnica: Desenvolvimento de benchmarks nacionais de consumo energético de edificações em operação. Conselho Brasileiro de Construção Sustentável, outubro 2014.
- CIBSE – TM22: Energy Assessment and Reporting Methodology, Chartered Institute of Building Services Engineers, 2006.
- CIBSE – TM46: Energy Benchmarks, Chartered Institute of Building Services Engineers, 2008.
- CIBSE - TM47: Operational Ratings and Display Energy Certificates, Chartered Institute of Building Services Engineers, 2009.
- CIBSE Guide D - Transportation systems in buildings, Chartered Institute of Building Services Engineers, 2010.
- CIBSE Guide F - Energy efficiency in buildings, Chartered Institute of Building Services Engineers, 2012.
- CIBSE TM54 - Evaluating Operational Energy Performance of Buildings at the Design Stage, Chartered Institute of Building Services Engineers, 2013.
- ECON19 - Energy Efficiency Best Practices Programme, Energy Consumption Guide 19: Energy use in Offices, March 2003.
- EN 15603 - Energy performance of buildings — Overall energy use, CO2 emissions and definition of energy ratings, 2008.
- EPE - Estudos de Demanda de Energia, Nota técnica DEA 13/14 : Demanda de Energia 2050. Plano Nacional de Energia 2050, Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, 2014-1.
- EPE - Estudos Econômicos, Nota técnica DEA 12/14 : Cenário Econômico 2050. Plano Nacional de Energia 2050, Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, 2014-2.
- Healy, D. - Asset Ratings and Operational Ratings: The relationship between different energy certificate types for UK buildings, Submitted to the University of Cambridge in partial fulfilment of the requirements for the Degree of Master of Studies in Interdisciplinary Design for the Built Environment, 2011
- Hinge, A., A. Cullen, B. Neely, C. Taylor - Building energy rating schemes around the world: What do we know? ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, 2014.
- Hong, S.M. and P. Steadman – An Analysis of Display Energy Certificates for Public Buildings, 2008-2012, A report to the Chartered Institute of Building Services Engineers, UCL Energy Institute December 2013
- IEA - Energy Performance Certification of Buildings: A policy tool to improve energy efficiency. International Energy Agency, OECD, Paris, 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). Portaria 372, de 17 de setembro de 2010. Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, De Serviços e Públicos. Rio de Janeiro, 2010.

MENEZES, A.C., A. Cripps, D. Bouchlaghem, R. Buswell, 2013 - Benchmarking small power energy consumption in UK office buildings: a review of data published in CIBSE guide F. Building Services Engineering Research and Technology, 34 (1), pp. 73-86.

SARFRAZ, O.; BACH, C. K.; WILLKINS, C. K. ASHRAE RP-1742 – Plug load design factors. ASHRAE Journals, janeiro, 2018.

Standeven, M. and B. Bordass – Landlord's Energy Statement: Guidance and Specification, version 2.3, Usable Buildings Trust, April 2007.

YUVENTI, J.; MEHDIZADEH, R. A critical analysis of power usage effectiveness and its use in communicating data center energy consumption. Energy and Buildings 64 (2013) 90-94.