



CBCS

Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

RT2B.06: Desenvolvimento de arquétipo, modelo de simulação, análise de sensibilidade e equações de *benchmark* para a tipologia de Supermercado

PROJETO: ECV – PRFP 003B/2020

CONVÊNIO DE COOPERAÇÃO TÉCNICO-FINANCEIRA ENTRE A ELETROBRAS E O CBCS, DESTINADO AO DESENVOLVIMENTO DE BENCHMARKS ENERGÉTICOS NO ÂMBITO DO PROCEL

Relatório elaborado pelos colaboradores do CBCS CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL:

Ana Carolina Veloso

Ana Paula Melo

Anderson Letti

Arthur Cursino

Camila Suizu

Clarice Degani

Daniel Amaral

Eduardo Kanashiro

Roberto Lamberts

Kleber Moura

Coordenação Eletrobras/Procel: Elisete Cunha

Publicado em 14/03/2021

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 Supermercado.

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. Equipamentos	9
4.4. Absortância solar e entorno	10
4.5. Orientação solar	10
4.6. Renovação do ar interno	11
4.7. Definição da carga térmica e SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR	11
5. MODELO DE SIMULAÇÃO	13
5.1. Cenários de simulação	13
5.2. Método de análise dos resultados das simulações	13
6. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	14
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. ANÁLISE DO IMPACTO 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	27

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.

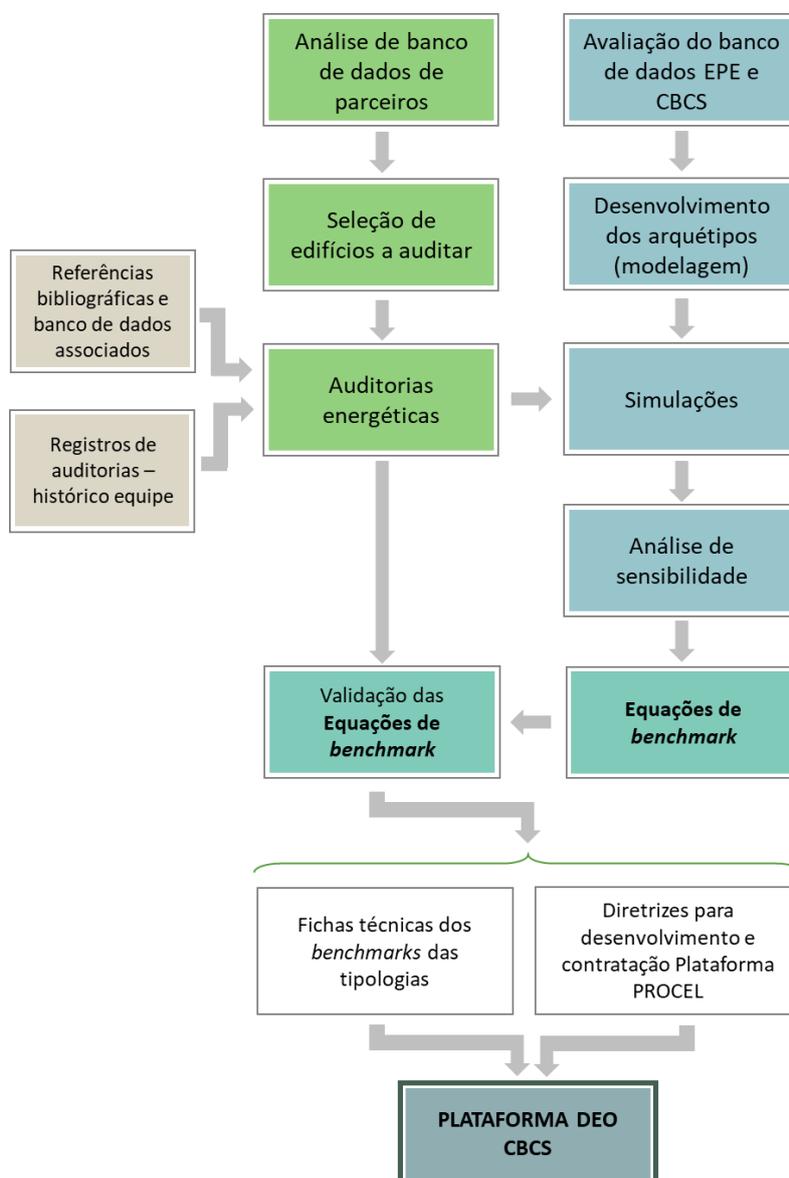


Figura 1 - Método aplicado pelo CBCS para o desenvolvimento dos benchmarks no âmbito deste convênio

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 **Supermercado**.

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, densidade de equipamentos, absorvância solar, entorno, orientação solar, sistema AVAC 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.

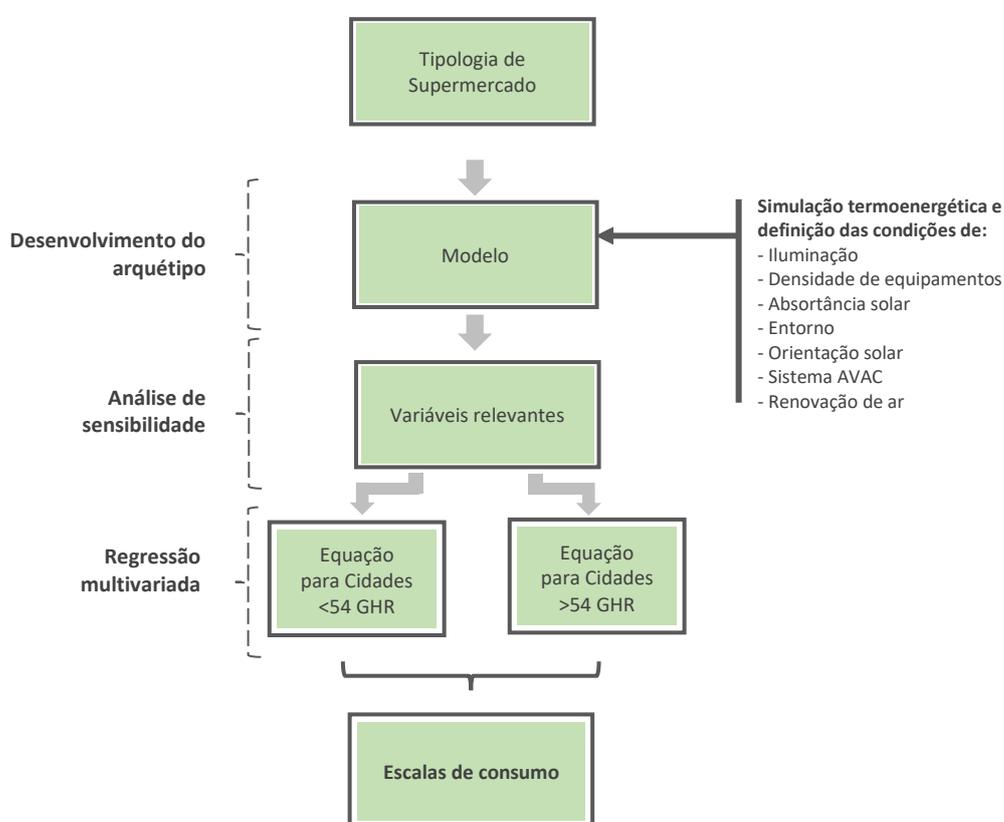


Figura 2 – Fluxograma de desenvolvimento das equações de benchmark e escalas de consumo para a tipologia de Supermercado.

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 **Supermercado** constitui-se tipicamente por edificações de apenas um pavimento destinado a vendas no varejo, principalmente de alimentos e bebidas, mas que podem incluir pequenas quantidades de preparação e vendas de alimentos prontos para o consumo.

As fontes de dados principais utilizadas para o desenvolvimento do arquétipo desta tipologia foram: (a) analisaram-se as amostras existentes desta tipologia no projeto META; (b) o arquivo modelo de referência *RefBldgSuperMarketNew2004_Chicago.idf* do software EnergyPlus v.9.2; e (c) refinou-se a caracterização do arquétipo por meio de uma auditoria energética. 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:

- Não foram consideradas as lojas satélites (drogaria, tabacaria etc.), geralmente localizadas na saída dos caixas.
- Não foram contabilizadas as áreas externas, como os estacionamentos, por exemplo.

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: área central de vendas, hortifruti, padaria, cafeteria, estoque e administração.

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 ambientes considerados nesta tipologia.

Tabela 2 – Áreas dos ambientes considerados.

Ambiente	Quantidade	Área total (m ²)	Percentual na área total
Vendas Central	1	2325	55,6%
Hortifruti	1	711	17,0%
Estoque	1	622	14,9%
Cafeteria	1	225	5,4%
Padaria	1	209	5,0%
Administração	1	89	2,1%
TOTAL	6	4181	100%

O modelo da Edificação geral foi construído com base em uma edificação de um pavimento de dimensões 79,19 m x 52,80 m x 6,00 m (L x C x A), totalizando 4.181m². A Figura 3 apresenta, a volumetria e a planta com a configuração dos ambientes considerados e Figura 4 as perspectivas do modelo.

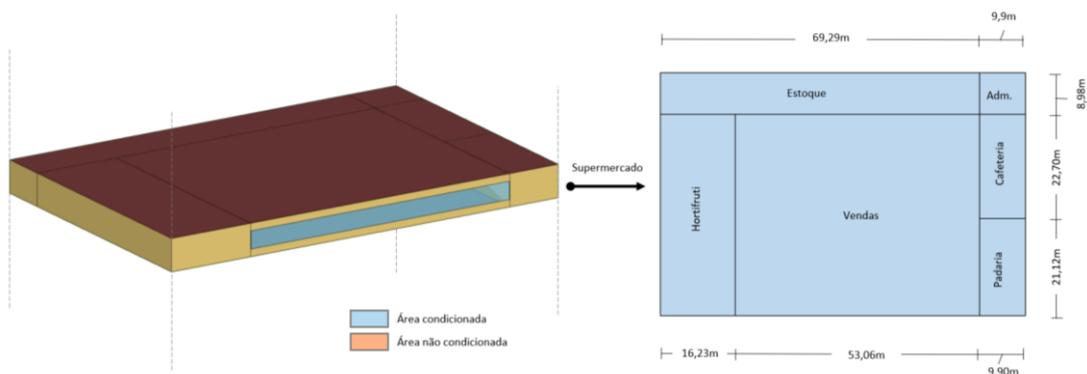


Figura 3 – Volumetria e configuração da planta do arquétipo

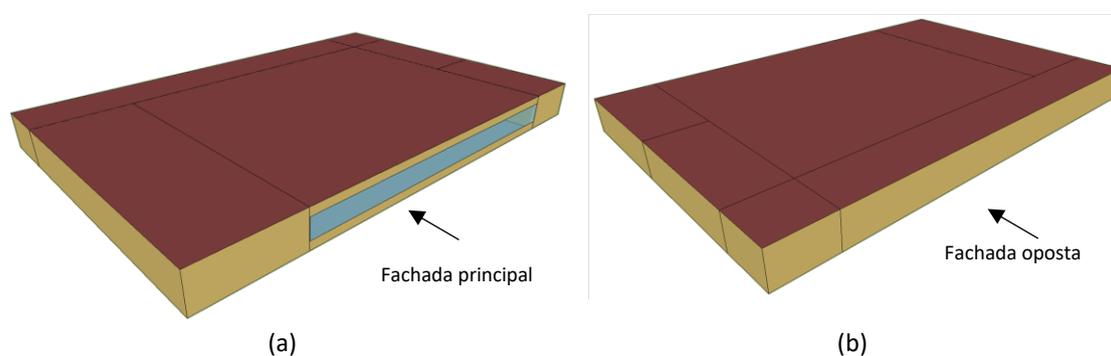


Figura 4 – Perspectiva da volumetria da edificação (a) frente e lateral esquerda; (b) fundos e lateral direita

A ocupação média da edificação foi adotada com a disponibilidade de 10 m² por pessoa com o perfil de ocupação baseado na tabela G-J “Retail Occupancy” da norma “ASHRAE 90.1 – Users Manual”, atingindo 5m² por pessoa em seu horário de pico, conforme ilustrado na Figura 5.

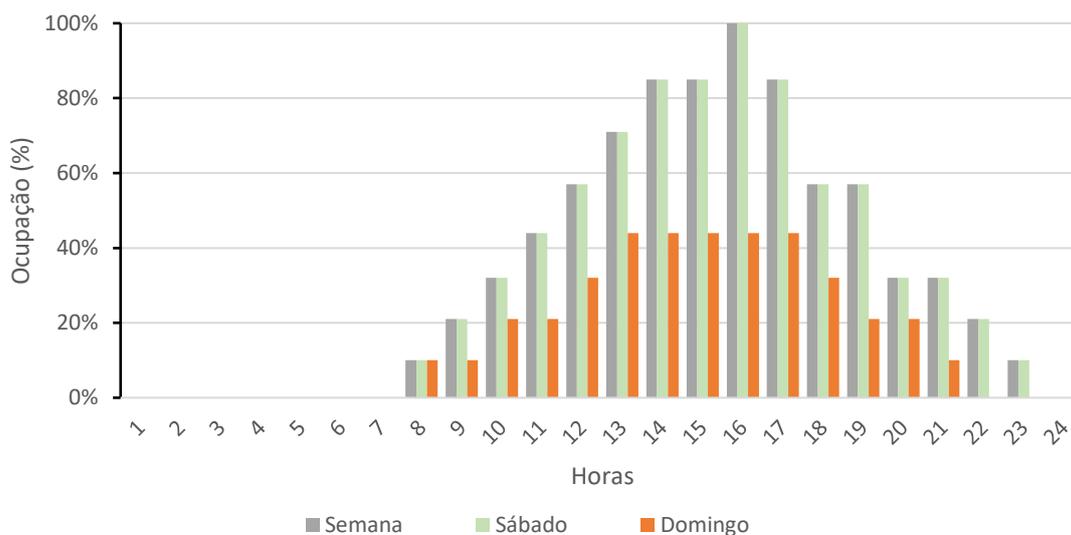


Figura 5 - Perfil de ocupação adotado para a tipologia

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 13,15 W/m² e um cenário menos eficiente (ILUM01) representando as lâmpadas fluorescentes com DPI médio de 28,96 W/m². Esses valores correspondem, respectivamente, a uma classe A e classe D, com valores determinados para cada tipo de ambiente presentes no arquétipo de acordo com seu uso, segundo a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas - INI-C (CB3E, 2020).

Seu perfil de utilização foi definido em 100% de utilização nos horários ocupados e 5% nos horários não ocupados para fins de monitoramento e segurança, conforme ilustrado na Figura 6.

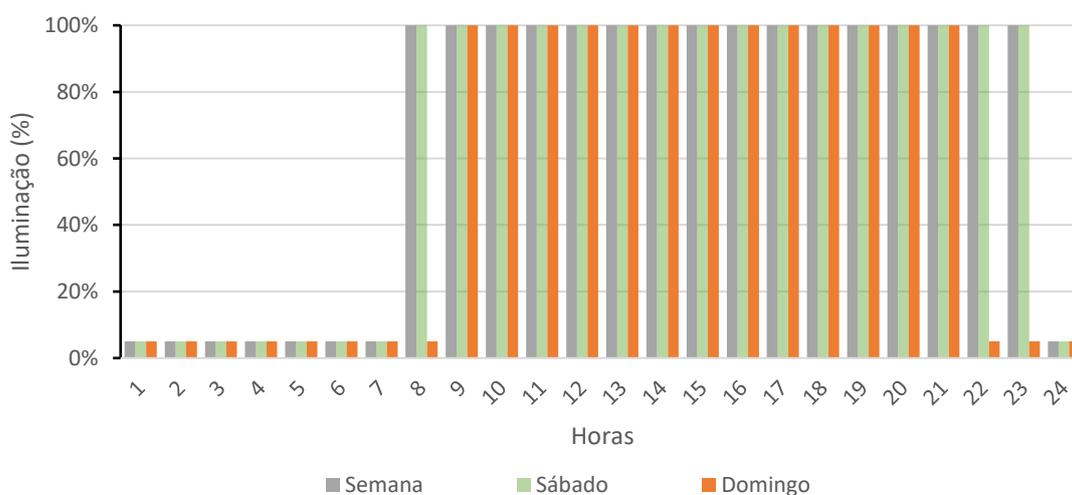


Figura 6 – Cronograma adotado para Iluminação

4.3. EQUIPAMENTOS

Existe uma grande variedade de equipamentos utilizados na tipologia de **Supermercado**. Alguns com muitas geladeiras e freezers, outros com mais gôndolas e prateleiras que não necessitam de energia elétrica em sua utilização. Nas padarias, há a utilização de fornos e outros equipamentos de aquecimento de alimentos, também com maior ou menor intensidade. Para ilustrar estes casos foram criados dois cenários: um de maior densidade de equipamentos (EQUI01) com 5 W/m² na área de vendas e de hortifruti e 100 W/m² na padaria e cafeteria, que equivalem a uma média ponderada de 14,2 W/m², e um cenário de menor densidade de equipamentos (EQUI02) com 2,5 W/m² e 50 W/m², que equivalem a uma média ponderada de 7,2 W/m².

A utilização de tais equipamentos, para ambos os cenários, seguem os perfis ilustrados nas Figura 8, de acordo com o tipo de ambiente.

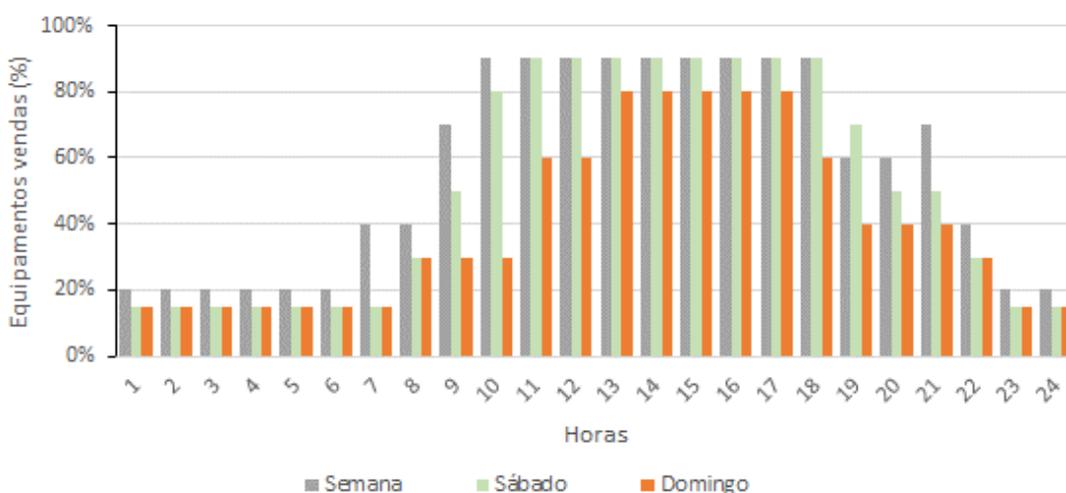


Figura 7 - Perfil de utilização dos equipamentos elétricos na área de vendas e hortifruti.

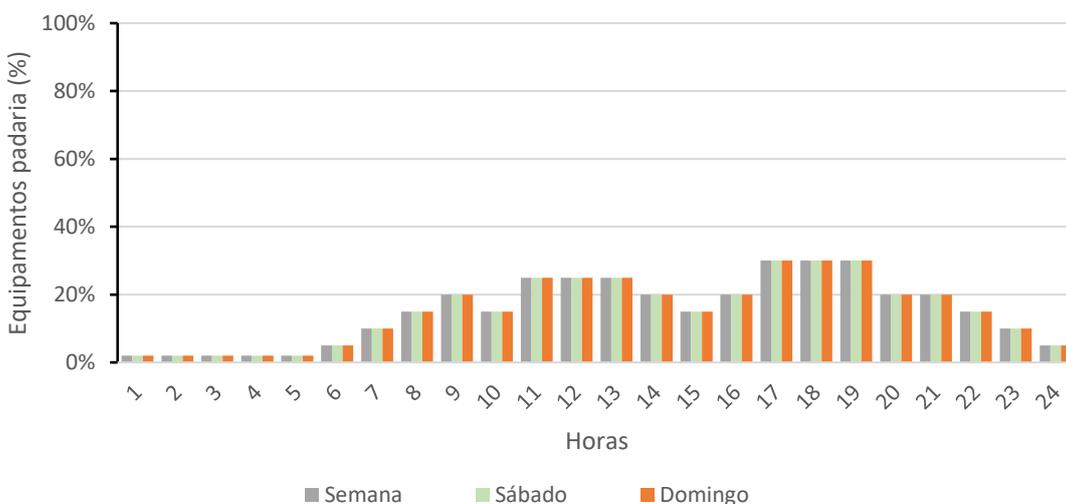


Figura 8 - Perfil de utilização dos equipamentos elétricos na padaria e confeitaria

4.4. ABSORTÂNCIA SOLAR E ENTORNO

Para definir os cenários que representam a eficiência da envoltória da edificação, foram adotados os valores apresentados nos Requisitos Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos, RTQ-C (INMETRO, 2010). Para a transmitância térmica das paredes e coberturas, foram considerados $2,53 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ e $1,01 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, respectivamente, para ambos os cenários e a Figura 9 apresenta seus elementos construtivos de referência.

Como a absorvância está relacionada à cor e esta característica é amplamente variável no estoque de edificações, foram definidos dois cenários de variação para esta propriedade. O primeiro cenário considera cores mais escuras nas fachadas e cobertura resultando em uma absorvância de 0,7 (ASOL01), e o segundo cenário considera cores mais claras, com absorvância de 0,3 (ASOL02).

O vidro considerado foi do tipo simples incolor de 3 mm, com valor de transmitância térmica de $5,8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ e um fator solar de 0,7.

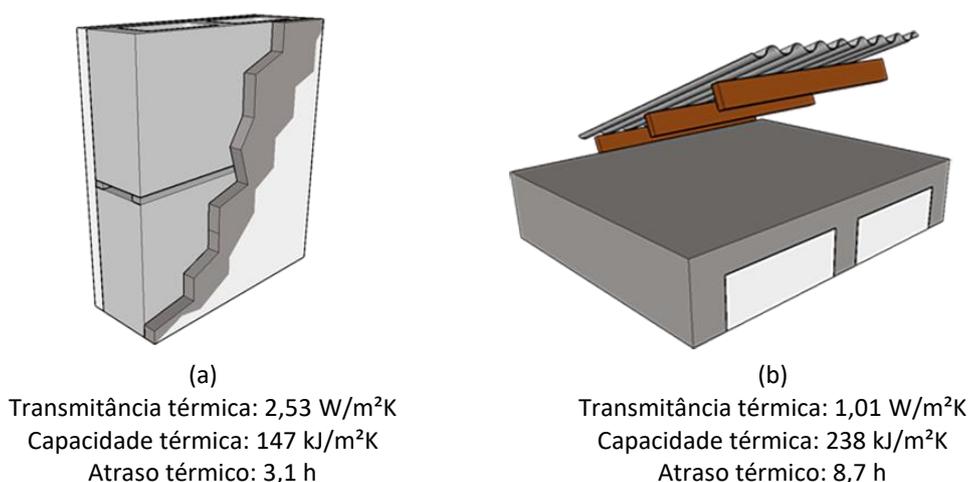


Figura 9 - Elementos construtivos de referência das paredes e cobertura

Outra variação que pode ser considerada é quanto ao entorno da tipologia. Tradicionalmente os supermercados se encontram em locais abertos, ficando expostos ao ambiente externo e foram representados pelo cenário (ENTO01). Existem também os casos em que tais supermercados se encontram no interior de edificações comerciais maiores e sem trocar calor diretamente com o ambiente externo e neste cenário (ENTO02) foi definido que toda a cobertura e três de suas fachadas serão adiabáticas e apenas uma das fachadas estará diretamente exposta ao clima externo.

Em ambos os casos foram consideradas unidades localizadas em pavimento térreo e em contato direto com o solo. A simulação da temperatura do solo foi considerada por meio do objeto GroundDomain:Slab do EnergyPlus.

4.5. ORIENTAÇÃO SOLAR

Uma vez que esta tipologia ocupa uma grande extensão territorial e assim a maior parte da incidência solar ocorre na cobertura, foram avaliados apenas dois cenários de orientação solar da fachada principal, visando avaliar o impacto dos locais de acesso no consumo total de energia da edificação. Assim, o cenário (ORIE01) possui a fachada principal orientada a sul e o cenário (ORIE02) orientada a oeste.

4.6. RENOVAÇÃO DO AR INTERNO

A renovação de ar em ambientes condicionados artificialmente no Brasil é obrigatória por lei e norma técnica. Para esta tipologia foram considerados dois cenários de acordo com as recomendações da norma ABNT NBR 16401-3. O cenário RENO01, com maior taxa de renovação de ar, atende ao nível 3 da norma, com uma parcela que se refere à ocupação do ambiente com 5,7 L/s.pessoa mais uma parcela de 0,5L/s.m², de acordo com a área condicionada. Já o cenário RENO02 corresponde ao nível 1 da norma, com menor intensidade, com parcelas de 3,8 L/s.pessoa e 0,3L/s.m².

4.7. 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, diferentes densidades de potência de equipamentos, aspectos construtivos, condições do entorno, 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
Densidade de equipamentos	EQUI01
Absortância solar	ASOL01
Entorno	ENTO01
Orientação solar	ORIE02
Renovação de 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

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

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.

Tabela 4 – Carga térmica por cidade representativa

Cidade	UF	Zona Bioclimática	Carga Térmica (TR)
Campos do Jordão	SP	1	81,2
São Paulo	SP	3	88,8
Porto Alegre*	RS	3	95,9
Campinas	SP	3	88,5
Rio de Janeiro (Vila Militar)	RJ	8	95,4
Vitória	ES	8	91,9
Recife	PE	8	94,8
Fortaleza	CE	8	94,6

* Cidade selecionada

Percebe-se que, dentre as cidades selecionadas como representativas, a cidade com maior carga térmica foi Porto Alegre, com 95,9 TR. Dessa forma, o arquivo climático de Porto Alegre foi selecionado como referência para dimensionamento do sistema de ar condicionado considerado no arquétipo.

Como cenário mais eficiente para a variável AVAC foram considerados sistemas individuais tipo Rooftop com Volume de Ar Variável (RT-VAV) para cada zona térmica, que resultou em um EER nominal médio de 3,77 W/W. Já para o cenário menos eficiente, também foram utilizados sistemas individuais tipo Rooftop, porém com Volume de Ar Constante (RT-VAC) de insuflamento e que também resultou em um EER médio de 3,77 W/W. Um terceiro cenário foi avaliado considerando um sistema central de água gelada (Chiller-UTA-VAV), com EER nominal de 3,23 W/W, que supre a demanda de resfriamento das Unidades de Tratamento de Ar de cada zona térmica. Este sistema central apresentou um rendimento similar ao sistema RT-VAC, ora com o consumo maior, ora com o consumo menor.

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, 1.536 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

Parâmetro	Cenário	Dado utilizado
Iluminação	ILUM01	Iluminação com DPI PBE classe D (28,96 W/m ²)
	ILUM02	Iluminação com DPI PBE classe A (13,15 W/m ²)
Equipamentos ¹	EQUI01	Potência média instalada de 14,2 W/m ²
	EQUI02	Potência média instalada de 7,2 W/m ²
Absortância solar	ASOL01	Absortância $\alpha = 0,70$
	ASOL02	Absortância $\alpha = 0,30$
Entorno	ENTO01	Exposto ao ambiente externo
	ENTO02	Cobertura e três paredes adiabáticas
Orientação solar	ORIE01	Frente orientada a sul
	ORIE02	Frente orientada a oeste
AVAC	RT-VAC	Rooftop individual – Volume de Ar Constante (EER = 3,77 W/W)
	RT-VAV	Rooftop individual – Volume de Ar Variável (EER = 3,77 W/W)
	Chiller-UTA-VAV	Chiller com condensação a ar – Volume de Ar Variável (EER = 3,23 W/W)
Renovação do ar	RENO01	Nível 3 da ABNT NBR 16401-3
	RENO02	Nível 1 da ABNT NBR 16401-3

¹ Foram consideradas as densidades de potência de equipamentos referenciadas no documento do DOE (<https://www.nrel.gov/docs/fy11osti/46861.pdf>), páginas 67 e 68, e adotadas as suas médias ponderadas.

5.2. MÉTODO DE ANÁLISE DOS RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Os resultados obtidos nas simulações mostraram um consumo significativo de aquecimento nas cidades mais frias, consumo esse que na cidade mais fria, Campos do Jordão, se aproximava muito do consumo para resfriamento. Portanto, 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	<54.000 GHR
São Paulo	SP	-23,85	-46,64	792	14.172	
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	>54.000 GHR
Vitória	ES	-20,32	-40,34	9	54.061	
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), densidade de equipamentos (EQUI), absorvância solar (ASOL), entorno (ENTO), orientação solar (ORIE), 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 10 e Figura 11, verifica-se que os parâmetros com variações mais significativas são o GHR, GDA, AVAC, ILUM e EQUI. As variações nos parâmetros RENO, ASOL, ENTO e ORIE tiveram um impacto pequeno no cálculo do consumo de energia. Sendo assim, essas são retiradas das análises da equação de regressão dos Supermercados para GHR abaixo de 54 mil.

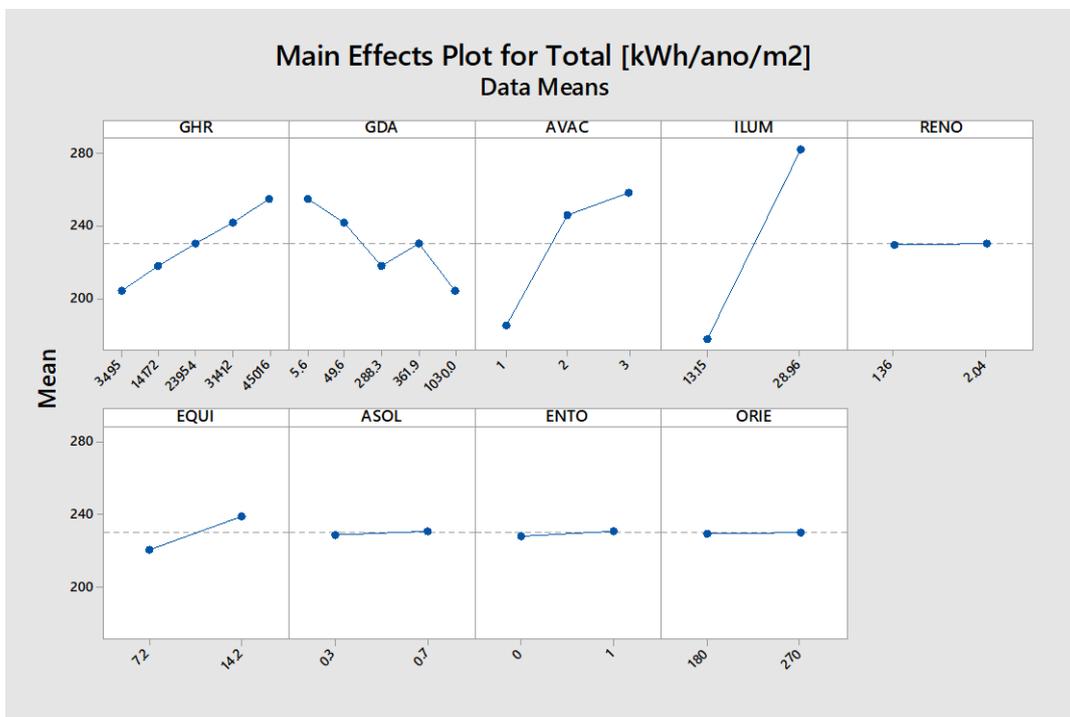


Figura 10 - Efeito dos parâmetros no consumo de energia

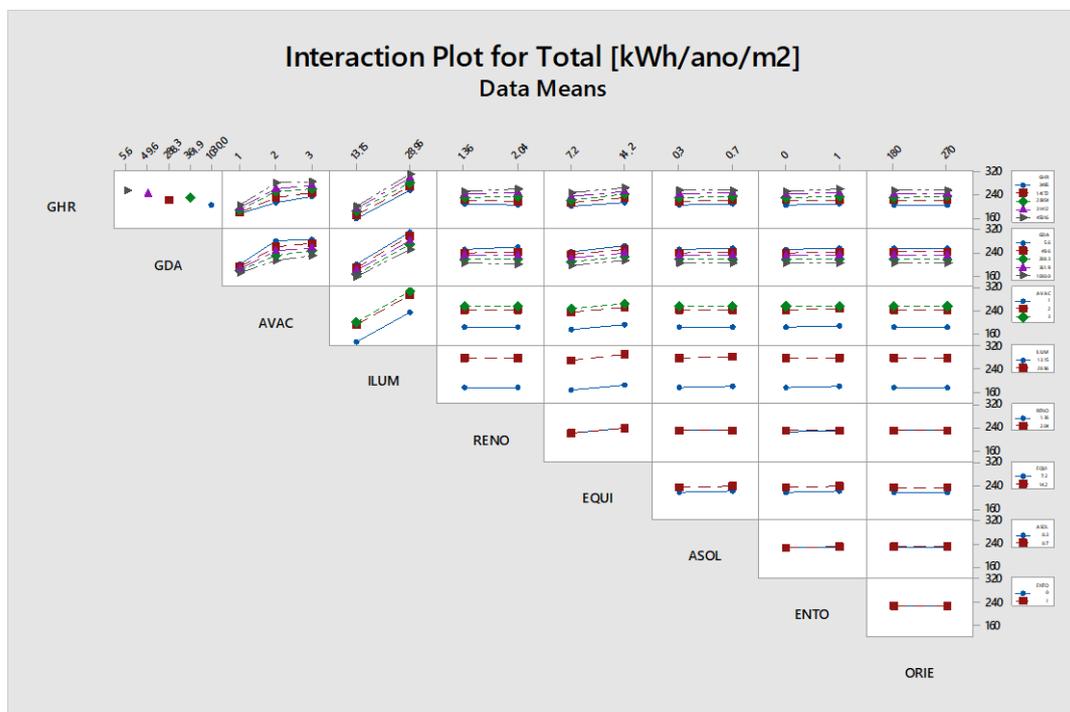


Figura 11 - Interação entre os parâmetros

6.2. ANÁLISE EM CIDADES COM GHR ACIMA DE 54 MIL

Pelos gráficos das Figura 12 e Figura 13, verifica-se que os parâmetros com variações mais significativas são o GHR, AVAC, ILUM e EQUI. As variações dos parâmetros RENO, ASOL, ENTO e ORIE tiveram um impacto pequeno no cálculo do consumo de energia. Sendo assim, essas são retiradas das análises da equação de regressão dos Supermercados para GHR acima de 54 mil.

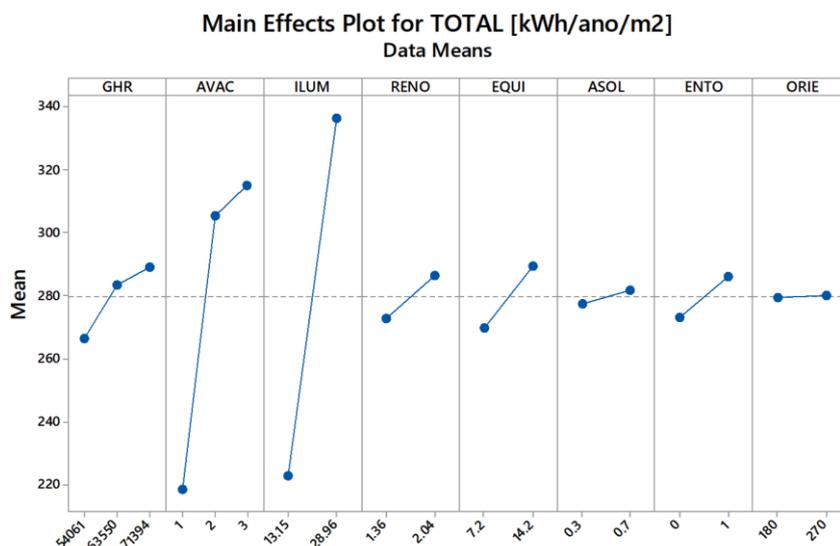


Figura 12 - Efeito dos parâmetros no consumo de energia

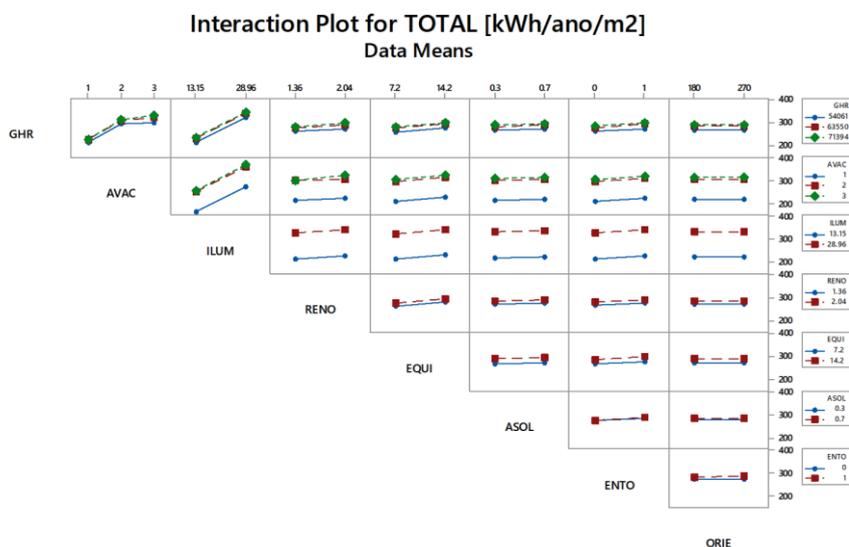


Figura 13. Interação entre os parâmetros

6.3. ANÁLISE DO IMPACTO 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, AVAC, ILUM e EQUI.

A Tabela 7 ilustra o impacto no consumo de energia do sistema de condicionamento de ar ao substituir o sistema de iluminação no padrão PBE classe D (28,96 W/m²) para um PBE classe A (13,15 W/m²). Além do impacto no consumo de energia no sistema AVAC, este parâmetro possui um impacto significativo no consumo de energia da edificação como um todo e, por isso, será utilizada 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:	Rooftop VAV (EER = 3,77 W/W)	
	Iluminação:	Parâmetro analisado	
	Equipamentos:	Potência instalada de 14,2 W/m ²	
	Absortância solar	$\alpha = 0,7$	
	Entorno:	Exposto ao ambiente externo	
	Orientação solar:	Fachada principal orientada a oeste	
	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 (28,96 W/m ²)	PBE classe A (13,15 W/m ²)	
Campos do Jordão	26,1	26,0	-0,4%
São Paulo	37,4	30,2	-19,3%
Porto Alegre	49,8	42,9	-13,8%
Campinas	62,2	47,5	-23,7%
Rio de Janeiro (Vila Militar)	74,4	57,1	-23,3%
Vitória	87,5	67,6	-22,7%
Recife	110,8	86,5	-21,9%
Fortaleza	112,5	87,5	-22,3%

A Tabela 8 ilustra a variação no consumo de energia elétrica no sistema de condicionamento de ar em relação à 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 também será um parâmetro de entrada que irá balizar o consumo de energia na equação de *benchmark*.

Tabela 8 – Impacto da densidade de equipamentos no consumo do sistema de condicionamento de ar

Modelo base	AVAC:	Rooftop VAV (EER = 3,77 W/W)	
	Iluminação:	PBE classe D (28,96 W/m ²)	
	Equipamentos:	Parâmetro analisado	
	Absortância solar	$\alpha = 0,7$	
	Entorno:	Cobertura e três fachadas adiabáticas	
	Orientação solar:	Fachada principal orientada a sul	
	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: Equipamentos		
	14,2 W/m ²	7,2 W/m ²	
Campos do Jordão	26,0	23,3	-10,2%
São Paulo	37,7	35,1	-6,9%
Porto Alegre	45,6	42,3	-7,2%
Campinas	57,6	53,8	-6,7%
Rio de Janeiro (Vila Militar)	66,4	62,3	-6,2%
Vitória	76,0	71,4	-6,0%
Recife	88,0	82,8	-5,9%
Fortaleza	94,7	89,2	-5,8%

O próprio sistema de condicionamento de ar possui diversas tecnologias com eficiências energéticas distintas que impactam no consumo de energia total de uma edificação. A **Erro! Autoreferência de indicador não válida.** ilustra a diferença no consumo de energia dos sistemas de expansão direta tipo rooftop de volume de insulfamento de ar constante (RT CAV) e outro de volume de ar variável (RT VAV). Já na Tabela 10, a comparação é feita entre o sistema RT VAV e um sistema central de água gelada (Chiller UTA VAV). Para os cenários analisados para esta tipologia e em ambas comparações, o sistema RT VAV apresenta um consumo muito mais eficiente que as demais tecnologias avaliadas.

Tabela 9 – Impacto do tipo de Rooftop do sistema AVAC no consumo do sistema de condicionamento de ar

Modelo base	AVAC:		Parâmetro analisado
	Iluminação:		PBE classe D (28,96 W/m ²)
	Equipamentos:		Potência instalada de 14,2W/m ²
	Absortância solar		$\alpha = 0,7$
	Entorno:		Exposto ao ambiente externo
	Orientação solar:		Fachada principal orientada a sul
	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: AVAC		
	RT-VAC (EER 3,77 W/W)	RT-VAV (EER 3,77 W/W)	
Campos do Jordão	90,9	26,1	-71,3%
São Paulo	110,8	37,4	-66,3%
Porto Alegre	122,1	49,8	-59,2%
Campinas	142,4	62,2	-56,3%
Rio de Janeiro (Vila Militar)	155,6	74,4	-52,2%
Vitória	168,8	87,5	-48,2%
Recife	189,9	110,8	-41,7%
Fortaleza	192,6	112,5	-41,6%

Tabela 10 – Impacto do tipo de sistema AVAC no consumo do sistema de condicionamento de ar

Modelo base	AVAC:		Parâmetro analisado
	Iluminação:		PBE classe D (28,96 W/m ²)
	Equipamentos:		Potência instalada de 14,2W/m ²
	Absortância solar		$\alpha = 0,7$
	Entorno:		Exposto ao ambiente externo
	Orientação solar:		Fachada principal orientada a sul
	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: AVAC		
	Chiller a ar (EER 3,23 W/W)	RT-VAV (EER 3,77 W/W)	
Campos do Jordão	71,3	26,1	-63,4%
São Paulo	98,4	37,4	-62,0%
Porto Alegre	123,0	49,8	-59,5%
Campinas	144,3	62,2	-56,9%
Rio de Janeiro (Vila Militar)	169,9	74,4	-56,2%
Vitória	192,7	87,5	-54,6%
Recife	223,2	110,8	-50,4%
Fortaleza	232,8	112,5	-51,7%

7. EQUAÇÃO DE REGRESSÃO

Para o desenvolvimento das equações para predição do consumo de energia da tipologia de **Supermercado**, 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 predizer 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 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).

7.1. CIDADES COM GHR ABAIXO DE 54 MIL

Análise dos parâmetros – Supermercado

Candidate terms: logGHR, logGDA, ILUM, AVAC, EQUI

	----Step 1----		-----Step 2-----		-----Step 3-----		-----Step 4-----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constant	91.84		19.30		-163.18		-190.77	
ILUM	6.565	0.000	6.5647	0.000	6.5647	0.000	6.5647	0.000
AVAC			36.269	0.000	36.269	0.000	36.269	0.000
logGHR					42.99	0.000	42.99	0.000
EQUI							2.578	0.000
logGDA								
S		38.2217		24.1394		17.4714		14.9566
R-sq		64.88%		86.01%		92.68%		94.64%
R-sq(adj)		64.84%		85.98%		92.65%		94.62%
R-sq(pred)		64.73%		85.93%		92.62%		94.59%
Mallows' Cp		6077.10		1848.37		514.47		123.57
	-----Step 5-----							
	Coef	P						
Constant	-88.8							
ILUM	6.5647	0.000						
AVAC	36.269	0.000						
logGHR	24.39	0.000						
EQUI	2.578	0.000						
logGDA	-11.00	0.000						
S		14.1065						
R-sq		95.24%						
R-sq(adj)		95.21%						
R-sq(pred)		95.18%						
Mallows' Cp		6.00						

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	5	3794929	758986	3814.13	0.000
logGHR	1	27676	27676	139.08	0.000
logGDA	1	23793	23793	119.57	0.000
ILUM	1	2585230	2585230	12991.56	0.000
AVAC	1	841885	841885	4230.72	0.000
EQUI	1	78185	78185	392.90	0.000
Error	954	189839	199		
Lack-of-Fit	54	175449	3249	203.20	0.000
Pure Error	900	14390	16		
Total	959	3984768			

Resumo do Modelo

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
14.1065	95.24%	95.21%	95.18%

EQUAÇÃO FINAL PARA CIDADES COM GHR ABAIXO DE 54 MIL

$$\text{CONSUMO FINAL [kWh/m}^2\text{/ano]} = -88,8 + 24,39 \cdot \log\text{GHR} - 11,00 \cdot \log\text{GDA} + 36,269 \cdot \text{AVAC} + 6,5647 \cdot \text{ILUM} + 2,578 \cdot \text{EQUI}$$

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

AVAC – Tipo de sistema de condicionamento de ar (1 – Rooftop VAV, 2– Chiller UTA VAV, 3 - Rooftop VAC)

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

EQUIP – Densidade de potência de equipamentos instalados (W/m²)

7.2. CIDADES COM GHR ACIMA DE 54 MIL

Análise dos parâmetros – Supermercado

Candidate terms: logGHR, AVAC, ILUM, EQUI

	----Step 1----		----Step 2----		----Step 3----		----Step 4----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constant	128.87		32.50		2.46		-906.8	
ILUM	7.170	0.000	7.170	0.000	7.170	0.000	7.170	0.000
AVAC			48.18	0.000	48.18	0.000	48.18	0.000
EQUI					2.808	0.000	2.808	0.000
logGHR							189.6	0.000
S	46.9005		25.4486		23.4845		21.5307	
R-sq	59.44%		88.08%		89.87%		91.50%	
R-sq (adj)	59.37%		88.04%		89.81%		91.44%	
R-sq (pred)	59.16%		87.96%		89.73%		91.36%	
Mallows' Cp	2151.65		230.51		112.52		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	2848199	712050	1536.01	0.000
logGHR	1	50771	50771	109.52	0.000
AVAC	1	891514	891514	1923.14	0.000
ILUM	1	1850293	1850293	3991.38	0.000
EQUI	1	55621	55621	119.98	0.000
Error	571	264699	464		
Lack-of-Fit	31	197777	6380	51.48	0.000
Pure Error	540	66923	124		
Total	575	3112898			

Resumo do Modelo

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
21.5307	91.50%	91.44%	91.36%

EQUAÇÃO FINAL PARA CIDADES COM GHR ACIMA DE 54 MIL

$$\text{CONSUMO FINAL [kWh/m}^2\text{/ano]} = -906,8 + 189,6 \cdot \log\text{GHR} + 48,18 \cdot \text{AVAC} + 7,170 \cdot \text{ILUM} + 2,808 \cdot \text{EQUI}$$

Onde:

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

AVAC – Tipo de sistema de condicionamento de ar (1 – Rooftop VAV, 2– Rooftop VAC, 3 – Chiller UTA VAV)

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

EQUIP – Densidade de potência de equipamentos instalados (W/m²)

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 14 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 94,31%, logo a equação de *benchmark* tem boa representatividade do modelo para a tipologia de **Supermercado**.

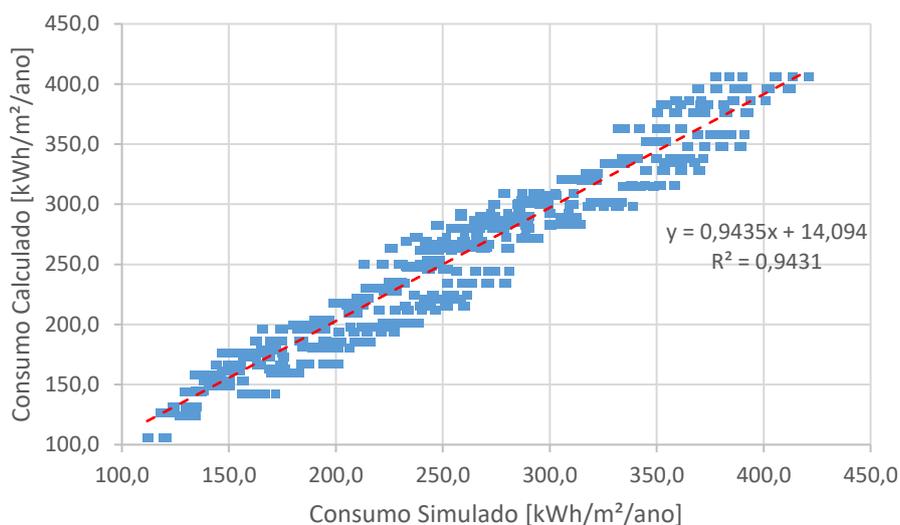


Figura 14 – Gráfico entre o consumo simulado e calculado

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 Tabela 11.

Tabela 11 – Parâmetros para Escala de Consumo de Energia em função do GHR para a tipologia de Supermercado

Parâmetro		Parâmetros significativos de acordo com a cidade	
		GHR < 54mil	GHR ≥ 54mil
Cidade			
Iluminação	W/m ²	X	X
Ar Condicionado	RT-VAC		
	RT-VAV	X	X
	Chiller-UTA-VAV		
Equipamentos	W/m ²	X	X

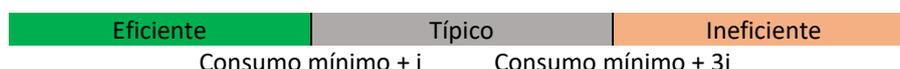
A escala de eficiência foi definida a partir do cálculo dos consumos mínimo e máximo obtidos pela simulação do arquétipo utilizando os cenários fixos, utilizados para o desenvolvimento da equação de *benchmark*. A Tabela 12 apresenta a definição do cenário utilizado para determinar os consumos mínimos e máximos.

Tabela 12 - Cenários para o cálculo de consumo mínimo e máximo para a tipologia de Supermercado

Parâmetros		Limite Mínimo	Limite Máximo
Cidade	GHR	Parâmetro fixo	
	GDA		
Iluminação	W/m ²	13,15	28,96
Ar Condicionado	RT-VAC	RT-VAV	RT-CAV
	RT-VAV		
	Chiller-UTA-VAV		
Equipamentos	W/m ²	7,2	14,2

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.

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



Consumo mínimo + i Consumo mínimo + 3i

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 Supermercado localizado na cidade de Canela -RS, com GHR = 10.764,44, GDA = 1.152,35, DPI de 15,73 W/m² e potência dos equipamentos de 16,02W. **O consumo previsto foi de 229,23 kWh/m²/ano.**

Realizando o cálculo do consumo deste Supermercado nos cenários de consumo mínimo e consumo máximo, obtém-se os limites indicados na Tabela 13.

Tabela 13 - Exemplo de Escala de Eficiência – Supermercado em Canela - RS.

Parâmetros		Limite Mínimo	Limite Máximo
ILUMINAÇÃO	DPI (W/m ²)	13,15	28,96
VARIÁVEIS	EQUIPAMENTOS	7,2	14,2
	AR CONDICIONADO	-	RT-VAV RT-VAC
FIXOS	CANELA - RS	GHR=10764 GDA=1152	Consumo geral: 117,02 [kWh/m ² /ano] Consumo geral: 311,39 [kWh/m ² /ano]

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

$$i = \frac{311,39 - 117,02}{5} = 38,9$$



155,9 233,6

Considera-se nesse exemplo, portanto, que a edificação analisada apresenta consumo menor ao consumo mínimo da faixa ineficiente e maior que o consumo máximo da faixa eficiente (**155,9 < 229,23 < 233,6 kWh/m²/ano**), sendo classificado como típico.

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 **Supermercado**.

Os parâmetros com maior impacto no consumo de energia desta tipologia foram: graus hora de resfriamento (GHR); graus-dia de aquecimento (GDA); iluminação (ILUM); tipo de sistema de condicionamento de ar (AVAC); e a densidade de potência de equipamentos (EQUI).

As variações de absorvância solar, entorno, orientação solar e renovação de ar não apresentaram impacto significativo no consumo final e, portanto, não foram incluídas na equação de *benchmark* proposta para esta tipologia.

O GHR representa as variações do clima externo de acordo com a localização do modelo e, portanto, tem impacto representativo no consumo do sistema de condicionamento de ar uma vez que cidades mais quentes tendem a apresentar um maior consumo para resfriamento. Verifica-se também que as cidades que apresentam GDA também tem um impacto no consumo por aquecimento, portanto foi necessário dividir em duas equações para ter uma melhor correlação das equações de regressão nas cidades que apresentavam essa característica.

A iluminação artificial além do impacto direto no consumo geral da edificação, têm impacto no consumo do sistema de condicionamento de ar, 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 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 AVAC.

E, finalmente, o próprio sistema de condicionamento de ar e as suas diversas tecnologias impactam diretamente em seu consumo energético. Sistemas de expansão direta tipo rooftop com volume constante de ar de insuflamento possuem menor controle sobre a faixa de eficiência de operação apresentando maior consumo de energia em relação aos sistemas rooftop com volume de ar variável que permitem que os equipamentos atuem em estágios mais adequados à demanda térmica e em faixas de operação de maior eficiência energética. A utilização de um sistema central de água gelada apresentou um consumo energético semelhante ao sistema RT-VAC e, portanto, não apresenta uma economia se comparado ao sistema RT-VAV nas configurações utilizadas nesta tipologia.

Com a previsão do consumo de energia em relação ao consumo simulado, verificou-se que as equações têm um R² de 94,31%, logo os modelos regressivos empregados foram representativos para prever o consumo de energia para a tipologia de **Supermercado**.

A Tabela 14 resume os parâmetros estudados e identifica os considerados significativos para o desenvolvimento das equações de *benchmark* para esta tipologia.

Tabela 14 -Parâmetros analisados e sua relevância para a equação de benchmark da tipologia de Supermercado

Parâmetros analisados	Parâmetros na equação para GHR < 54 mil	Parâmetros na equação para GHR > 54 mil
Clima GHR	✓	✓
Clima GDA	✓	
AVAC	✓	✓
Iluminação	✓	✓
Equipamentos	✓	✓
Absortância solar		
Entorno		
Orientação Solar		
Renovação de ar interno		

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.