



**CBCS**

Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

## **RT2B.04: Desenvolvimento de arquétipo, modelo de simulação, análise de sensibilidade e equações de *benchmark* para a tipologia de Hotel de Pequeno Porte e Pousada**

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 28/02/2021**

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 Hotel de Pequeno Porte e Pousada.

## Sumário

<b>Sumário</b> .....	<b>1</b>
<b>1. CONTEXTUALIZAÇÃO E METODOLOGIA</b> .....	<b>2</b>
Metodologia geral adotada para o convênio .....	3
<b>2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS</b> .....	<b>4</b>
<b>3. CIDADES SELECIONADAS</b> .....	<b>5</b>
<b>4. DESENVOLVIMENTO DO ARQUÉTIPO</b> .....	<b>6</b>
4.1. Volumetrias .....	6
4.2. Iluminação .....	7
4.3. Ocupação .....	8
4.4. Sombreamento e orientação solar .....	9
4.5. Envoltória e tipo de vidro .....	9
4.6. Definição da carga térmica e ar condicionado .....	10
<b>5. MODELO DE SIMULAÇÃO</b> .....	<b>13</b>
5.1. Cenários de simulação .....	13
5.2. Método de análise dos resultados das simulações .....	13
<b>6. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE</b> .....	<b>15</b>
6.1. ANÁLISES EM Cidades com ghr abaixo de 54 mil .....	15
6.2. ANÁLISES EM Cidades com GHR acima de 54 mil .....	17
6.3. análise do impacto DOS PARÂMETROS SIGNIFICATIVOS .....	18
<b>7. EQUAÇÃO DE REGRESSÃO</b> .....	<b>21</b>
7.1. Cidades com GHR abaixo de 54 mil .....	21
7.2. Cidades com GHR acima de 54 mil .....	22
7.3. Avaliação entre o consumo simulado e o consumo calculado .....	23
<b>8. ESCALAS DE CONSUMO DE ENERGIA</b> .....	<b>24</b>
8.1. Método para cálculo das escalas .....	24
8.2. Exemplo de aplicação .....	25
<b>9. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>26</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>28</b>

## 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.

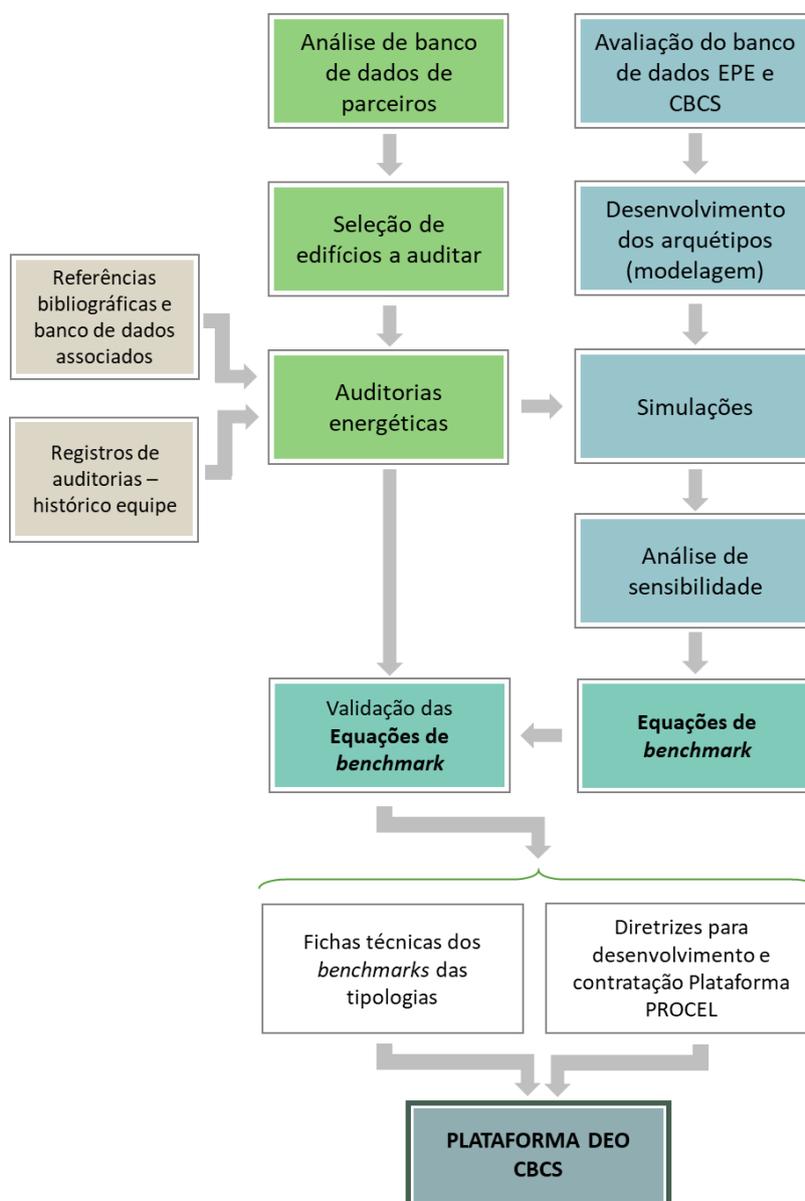
É clara a necessidade de avanços para o desenvolvimento de um programa nacional de gestão energética em edificações existentes e a pertinência do presente convênio. Sendo assim, para melhor entender o consumo energético das edificações em operação, a fim de permitir a gestão destes consumos e operações 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 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.

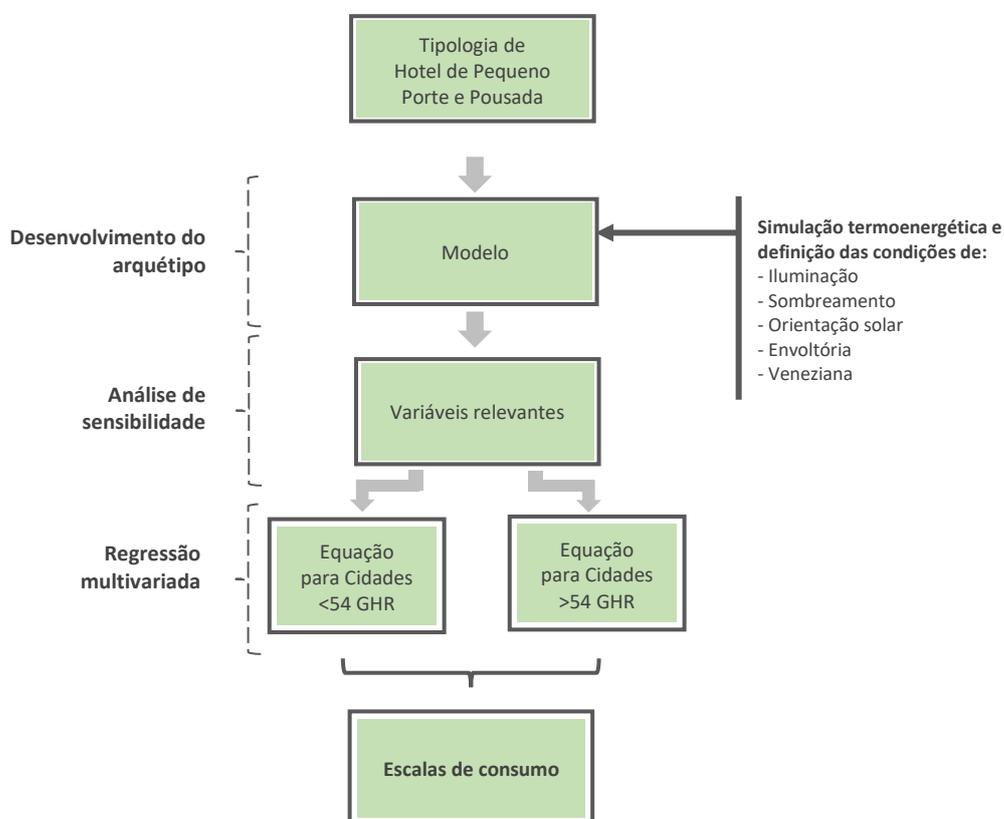


**Figura 1 - Método aplicado pelo CBCS para o desenvolvimento dos benchmarks no âmbito deste convênio**

## 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 **Hotel de Pequeno Porte e Pousada**.

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, ocupação, sombreamento, orientação, envoltória e ar condicionado. 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 Hotel de Pequeno Porte e Pousada**

### 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 no ar condicionado, 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 **Hotel de Pequeno Porte e Pousada** constitui-se tipicamente por edifícios de múltiplos andares composto por suítes e banheiros, sendo essa a atividade fim desta tipologia. Há também as áreas comuns e de apoio.

Duas fontes de dados principais foram utilizadas para o desenvolvimento do arquétipo desta tipologia: (a) analisaram-se as amostras existentes desta tipologia no projeto META; e (b) refinou-se a caracterização do arquétipo por meio de auditorias energéticas. 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, não inseridos em outras edificações, podendo ou não serem sombreados pelo entorno.
- 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, recepção, restaurante, cozinha, lavanderia, quartos e banheiros.

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: circulações horizontais e verticais, recepção, restaurante, cozinha, lavanderia, quartos e banheiros.

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.

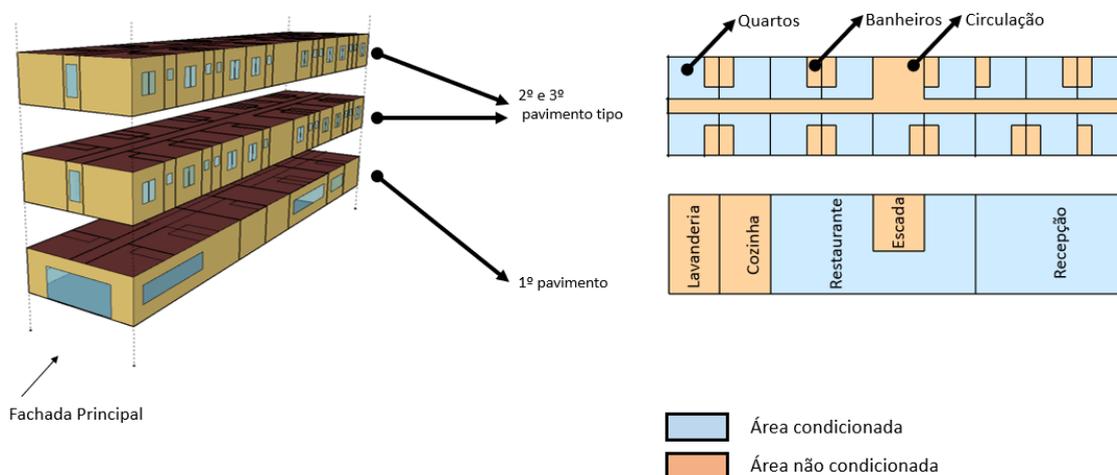
**Tabela 2 – Áreas dos ambientes considerados.**

Ambiente	Quantidade	Área total (m <sup>2</sup> )	Percentual na área total
Quartos	34	397,8	43%
Banheiros	34	102	11%
Recepção	1	103,32	11%
Escada	3	139,86	15%
Restaurante	1	118,02	12%
Cozinha	1	34,44	4%
Lavanderia	1	34,44	4%
<b>TOTAL</b>	<b>75</b>	<b>929,88</b>	<b>100%</b>

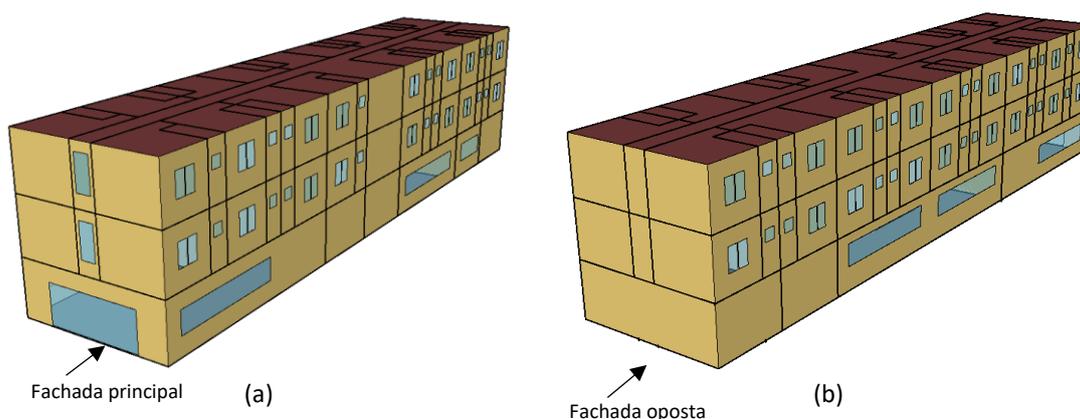
O modelo da Edificação geral foi construído com base em uma edificação de três pavimentos de dimensões 37,80 m x 8,20 m x 3,00 m (L x C x A), totalizando 929,88 m<sup>2</sup>. A Figura 3 apresenta a volumetria

e a planta com a configuração dos ambientes considerados e a Figura 4 apresenta as perspectivas da volumetria do modelo.

Foram considerados nesse arquétipo 17 quartos por andar, totalizando 34 quartos no modelo.



**Figura 3 – Volumetria e configuração da planta do arquétipo**

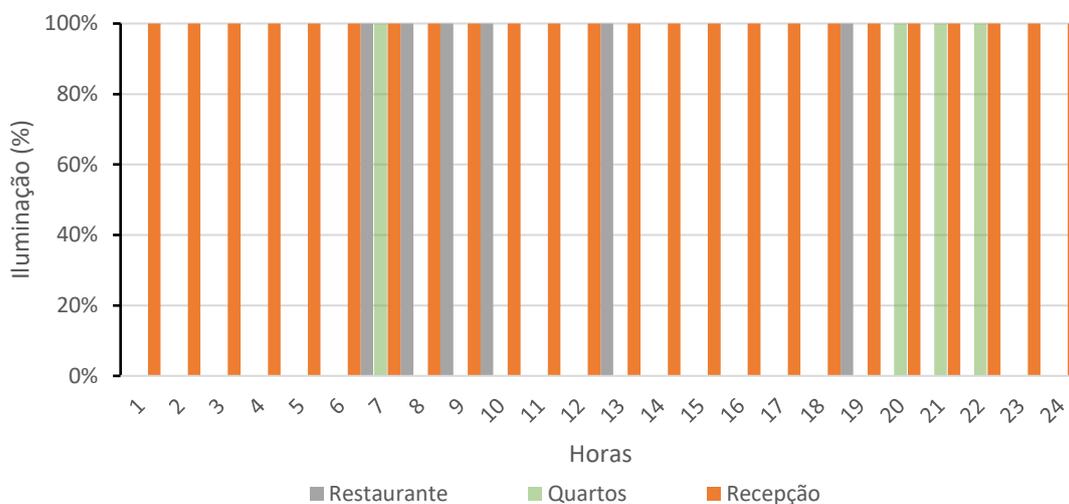


**Figura 4 – Perspectiva da volumetria da edificação. (a) frente e lateral esquerda; (b) fundos e lateral direita.**

## 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 8,15 W/m<sup>2</sup>, e um cenário menos eficiente (ILUM01) representando as lâmpadas fluorescentes e/ou incandescentes com DPI médio de 12,15 W/m<sup>2</sup>. Esses valores correspondem, respectivamente, a classe A e classe D, com valores determinados para cada tipo de ambientes 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).

A iluminação artificial desses espaços foi considerada na simulação como 100% da área iluminada para os ambientes de Restaurante, Quartos e Recepção nos horários variando conforme cronograma apresentado na Figura 5.



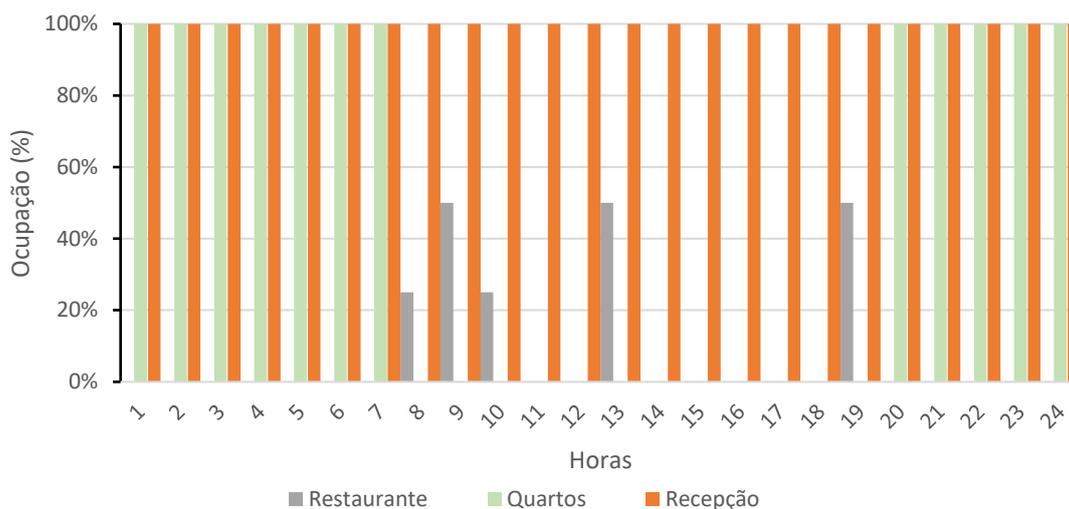
**Figura 5 – Cronograma adotado para Iluminação.**

### 4.3. OCUPAÇÃO E EQUIPAMENTOS

A ocupação da edificação e os equipamentos elétricos de tomada foram definidos de acordo com a utilização de cada ambiente, descritos a seguir:

- Recepção: uma pessoa, um computador e uma televisão. A recepção funciona 24 horas por dia todos os dias do ano;
- Quartos: uma pessoa, um frigobar e uma televisão. O quarto é ocupado entre 19 horas e 07 horas do dia seguinte;
- Banheiros: foram considerados chuveiros com potência de 5400W, em dois banhos de 5 minutos cada, com 50% da potência nos meses quentes e 100% da potência nos meses frios.

Os equipamentos das zonas restaurante, cozinha e lavanderia não foram considerados nas simulações. O consumo relativo ao restaurante/cozinha será considerado a partir do resultado obtido no projeto para a tipologia restaurantes. A lavanderia para hotéis de pequeno porte apresenta um diversidade muito grande de possibilidades, serviço terceirizado, maquinas “caseiras”, ou máquinas profissionais, portanto deverá ser considerada por meio da entrada de dados de potência instalada por parte do usuário da plataforma. A iluminação artificial desses espaços entretanto, foi considerada na simulação e será variada conforme os cenários descritos a seguir.



**Figura 6 – Cronograma adotado para ocupação para cada tipo de ambiente.**

#### 4.4. SOMBREAMENTO E ORIENTAÇÃO SOLAR

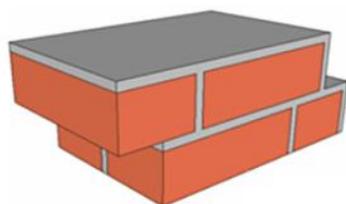
No cenário de sombreamento foi considerado um entorno construído de altura igual à altura do arquétipo (ENTO02) e um cenário sem sombreamento do entorno (ENTO01).

Pela simetria do arquétipo desenvolvido, foram considerados apenas dois cenários de orientação solar considerando a fachada principal orientada a norte, com as maiores fachadas em que estão a maioria das aberturas voltadas a leste e oeste (ORIE01) e outro cenário com a fachada principal voltada a oeste (ORIE02), e com as maiores fachadas com aberturas voltada a norte e sul.

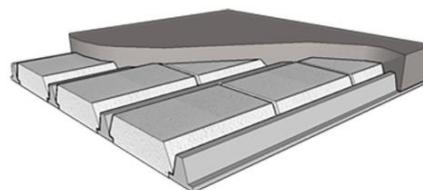
#### 4.5. ENVOLTÓRIA E TIPO DE VIDRO

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 o cenário menos eficiente (ENVO01) foi considerada a transmitância térmica da parede igual a 3,70 W/m<sup>2</sup>.K, da cobertura igual a 2,00 W/m<sup>2</sup>.K e uma absorvância à radiação solar de ambos igual a 0,7, equivalente ao concreto aparente. Para o cenário mais eficiente (ENVO02), onde os materiais utilizados na construção da edificação são mais isolantes e com menor retenção do calor proveniente da radiação solar incidente, minimizando as oscilações de temperatura interior em função das condições climáticas externas que muitas vezes são indesejados nos ambientes internos, foi determinado uma envoltória com transmitância térmica das paredes igual a 2,50 W/m<sup>2</sup>.K, da cobertura de 1,00 W/m<sup>2</sup>.K e um valor de absorvância à radiação solar de ambos igual a 0,3, equivalente à uma pintura na cor branca.

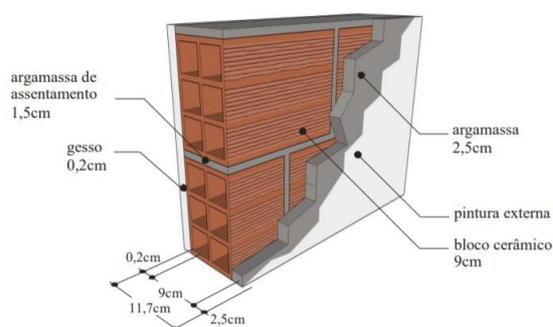
A Figura 7 apresenta os elementos construtivos de referência para paredes e coberturas de ambos os cenários.



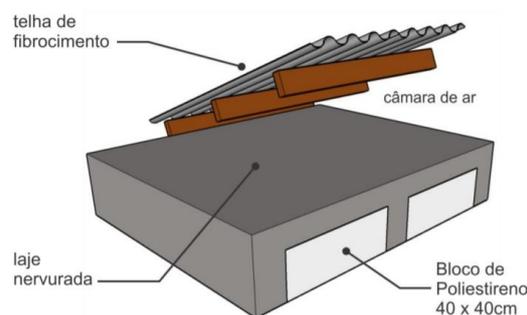
(a)  
Transmitância térmica: 3,7 W/m<sup>2</sup>K  
Capacidade térmica: 142 kJ/m<sup>2</sup>K  
Atraso térmico: 2,3 h



(b)  
Transmitância térmica: 2,0 W/m<sup>2</sup>K  
Capacidade térmica: 132 kJ/m<sup>2</sup>K  
Atraso térmico: 2,5 h



(c)  
Transmitância térmica: 2,5 W/m<sup>2</sup>K  
Capacidade térmica: 100 kJ/m<sup>2</sup>K  
Atraso térmico: 2,2 h



(d)  
Transmitância térmica: 1,0 W/m<sup>2</sup>K  
Capacidade térmica: 238 kJ/m<sup>2</sup>K  
Atraso térmico: 8,7 h

**Figura 7 – Elementos construtivos de referência para: Cenário ENVO01 (a) Paredes e (b) Cobertura e Cenário ENVO02 (c) Paredes e (d) Cobertura**

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.

Em relação ao tipo de vidro foi definido um vidro simples com transmitância térmica de 5,8 kWh/m<sup>2</sup>.K, fator solar de 0,87 e transmissividade luminosa de 0,89. A relação janela-parede externa (WWR) do edifício é de 13,7% para todos os cenários.

#### 4.6. DEFINIÇÃO DA CARGA TÉRMICA E AR CONDICIONADO

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 INMET<sup>1</sup> 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).

<sup>1</sup> Disponível em: [http://climate.onebuilding.org/WMO\\_Region\\_3\\_South\\_America/BRA\\_Brazil/index.html](http://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/BRA_Brazil/index.html)

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
Entorno	ENTO1
Orientação solar	ORIE01
Envoltória	ENVO01 ASOL01
Veneziana	VENE01

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 ( $P \text{ [kW]} = \text{vazão [l/s]} \times 0,0017$ ), e para vazão variável ( $P \text{ [kW]} = \text{vazão [l/s]} \times 0,0024$ ), 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 ar condicionado do arquétipo. Esta seleção foi feita tendo 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.

**Tabela 4 – Carga térmica por cidade representativa.**

Cidade	UF	Zona Bioclimática	Carga Térmica (TR)
Campos do Jordão	SP	1	29,5
São Paulo	SP	3	32,2
<b>Porto Alegre*</b>	<b>RS</b>	<b>3</b>	<b>33,2</b>
Campinas	SP	3	31,6
Rio de Janeiro (Vila Militar)	RJ	8	28,5
Vitória	ES	8	31,3
Recife	PE	8	28,3
Fortaleza	CE	8	25,2

\* Cidade selecionada

Percebe-se que, dentre as cidades selecionadas como representativas, a cidade com maior carga térmica foi Porto Alegre, com 33,2 TR. Dessa forma, o arquivo climático de Porto Alegre foi selecionado como referência para dimensionamento do sistema de ar condicionado considerado no arquétipo.

No arquétipo simulado foram condicionados apenas os quartos e a recepção. Dois cenários para ar condicionado foram considerados nas simulações. O primeiro cenário considera sistemas individuais tipo *Split* para cada zona térmica, com EER (*Energy Efficiency Ratio*) médio de 3,24 W/W. O segundo cenário considerou um sistema mais eficiente, na forma de um sistema split do tipo Inverter que possuem EER médio de 3,42W/W.

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. No arquétipo simulado foi considerado o nível 1 da norma, com taxa de renovação de ar de 5,5 l/s.pessoa.

## 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, 1.024 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, consumos desagregados por uso final e por ambiente. A Tabela 5 apresenta a síntese das características dos cenários adotados nas simulações termoenergéticas para esta tipologia.

**Tabela 5 – Cenários adotados para simulações.**

Parâmetro	Cenário	Dado utilizado
Iluminação	ILUM01	Iluminação com DPI PBE classe D (12,15W/m <sup>2</sup> )
	ILUM02	Iluminação com DPI PBE classe A (8,15W/m <sup>2</sup> )
Entorno	ENTO01	Sem considerar sombreamento de entorno
	ENTO02	Considerando sombreamento de entorno com mesma altura
Orientação solar	ORIE01	Frente orientada a Norte
	ORIE02	Frente orientada a Oeste
Envoltória 01	ENVO01ASOL01	Uparede = 3,70 W/m <sup>2</sup> .K; Ucobertura = 2,00 W/m <sup>2</sup> .K Absortância = 0,70
	ENVO01ASOL02	Uparede = 3,70 W/m <sup>2</sup> .K; Ucobertura = 2,00 W/m <sup>2</sup> .K Absortância = 0,30
Envoltória 02	ENVO02ASOL01	Uparede = 2,50 W/m <sup>2</sup> .K; Ucobertura = 1,00 W/m <sup>2</sup> .K Absortância = 0,70
	ENVO02ASOL02	Uparede = 2,50 W/m <sup>2</sup> .K; Ucobertura = 1,00 W/m <sup>2</sup> .K Absortância = 0,30
AVAC	Split	Sistema Split (EER = 3,24W/W)
	Split Inverter	Sistema Split Inverter (EER = 3,42W/W)
Veneziana	VENE01	Sem veneziana
	VENE02	Com veneziana

Notas:

U = Transmitância térmica;

SHGC = *Solar Heat Gain Coefficient*, em português: coeficiente de ganho de calor solar.

### 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.

Além disso, a contribuição dos ambientes não considerados, como os restaurantes e as lavanderias, que podem possuir cargas especiais, não foi modelada no arquetipo. Neste caso, como trata-se de um consumo muito particular de cada caso, definiu-se que essas cargas entrariam de forma isolada na equação de *benchmarking*, conforme seus perfis de carga e de utilização.

## 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), entorno (ENTO), orientação solar (ORIE), envoltória (ENVO), tipo de sistema de ar condicionado (AVAC) e veneziana (VENE). 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. ANÁLISES EM CIDADES COM GHR ABAIXO DE 54 MIL

Pelos gráficos das Figura 5 e Figura 6, que mostram as relações entre os diferentes parâmetros e o consumo de energia total do modelo para cidades com consumo por aquecimento, verifica-se que os parâmetros com variações mais significativas são o GHR, GDA, AVAC, ILUM, ENTO e ENVO. As variações dos parâmetros ORIE e VENE tiveram um impacto pequeno no cálculo do consumo de energia e foram retirados das análises da equação de regressão na tipologia de **Hotel de Pequeno Porte e Pousada** para GHR abaixo de 54 mil.

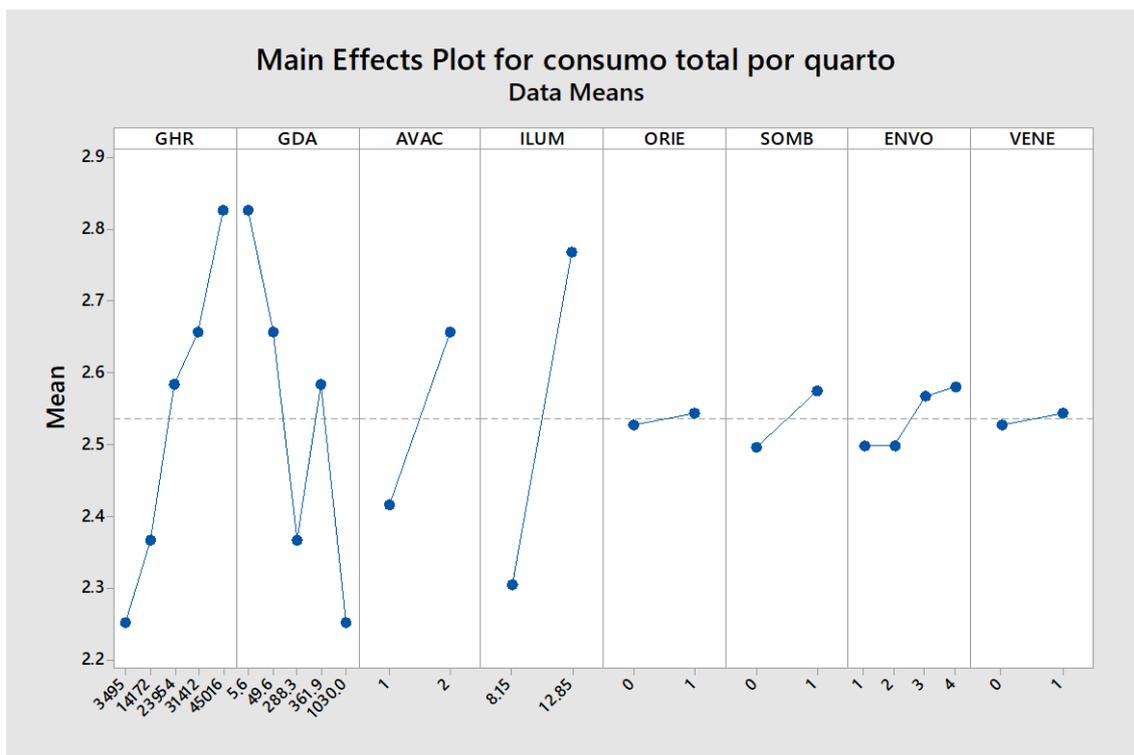


Figura 5. Efeito dos parâmetros no consumo de energia

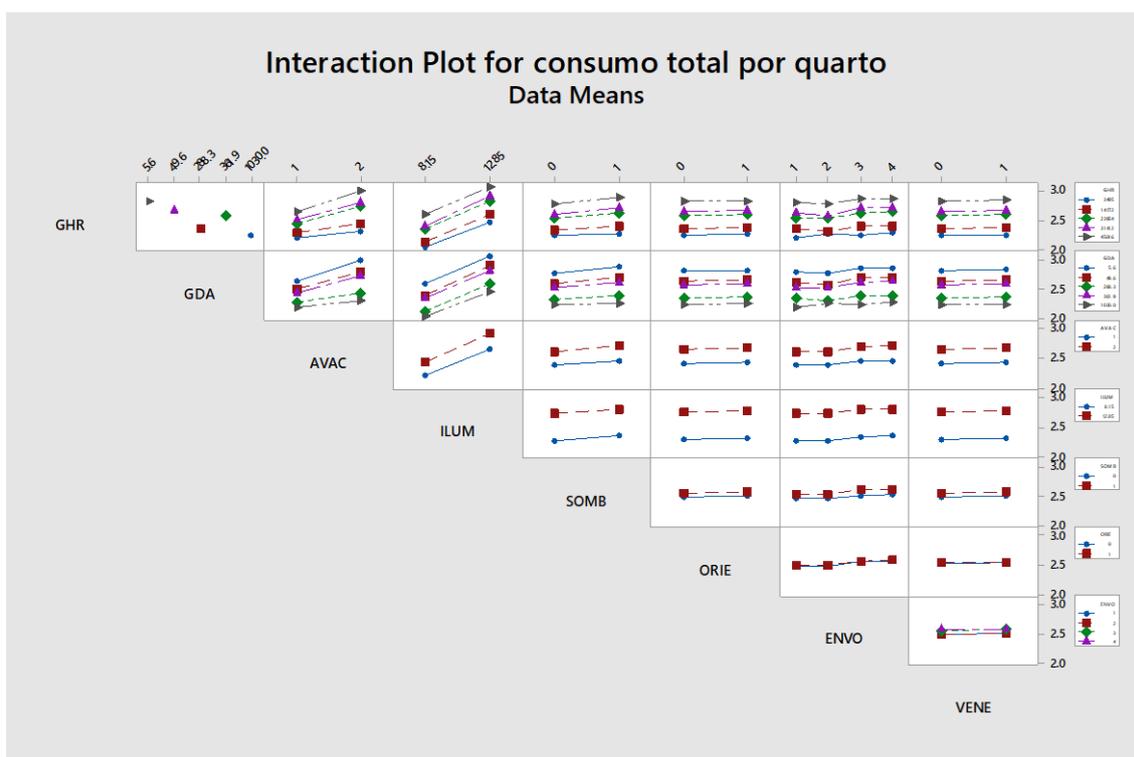


Figura 6. Interação entre os parâmetros

## 6.2. ANÁLISES EM CIDADES COM GHR ACIMA DE 54 MIL

Pelos gráficos das Figura 7 e Figura 8, que mostram as relações entre os diferentes parâmetros e o consumo de energia total do modelo, verifica-se que os parâmetros com variações mais significativas são o GHR, AVAC, ILUM, ENTO e ENVO. As variações dos parâmetros ORIE e VENE tiveram um impacto pequeno no cálculo do consumo de energia e foram retirados das análises da equação de regressão na tipologia de **Hotel de Pequeno Porte e Pousada** para GHR acima de 54 mil.

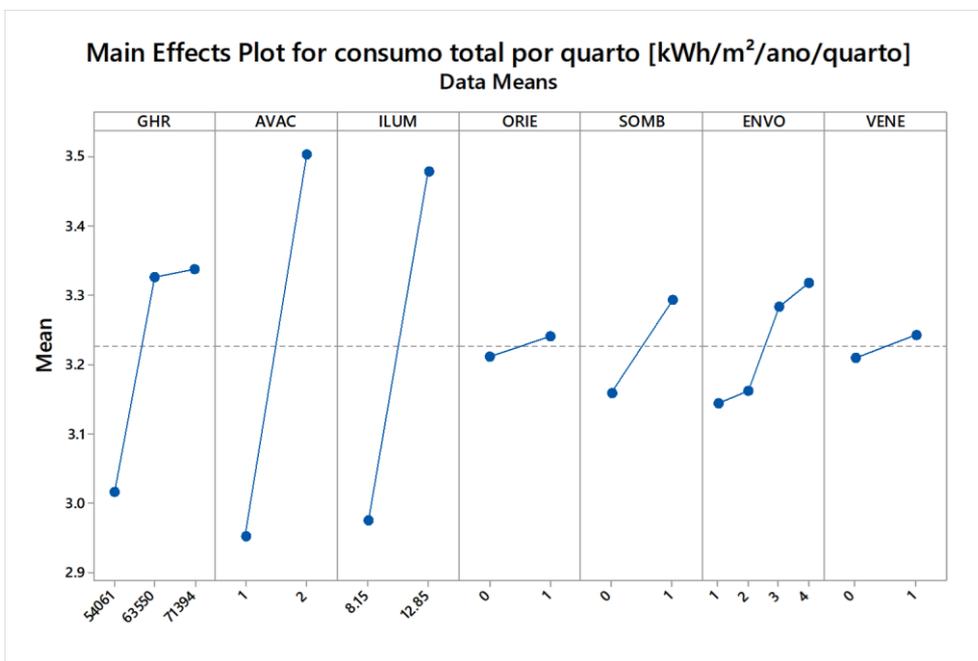


Figura 7. Efeito dos parâmetros no consumo de energia

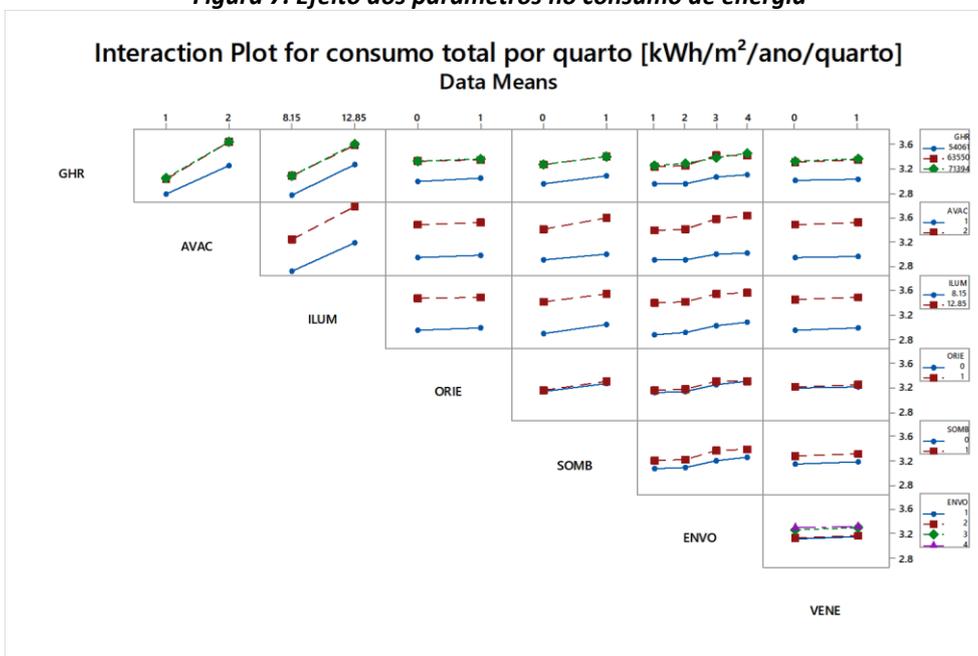


Figura 8. Interação entre os parâmetros

### 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. São eles: ILUM, ENTO, ENVO e AVAC.

A condição de entorno, ou seja, se a edificação possui edificações vizinhas de mesma altura ou se ela não é sombreada pelo entorno, apresentou uma diferença no consumo de ar condicionado significativa, acima de 13% como pode ser observado na Tabela 7. Esse parâmetro possui um impacto significativo no consumo de energia da edificação como um todo e por isso foi utilizada para construir a equação de *benchmark*.

**Tabela 7 - Análise de sensibilidade do sombreamento pelo entorno.**

<b>Modelo base</b>	AVAC: Sistema split (EER =3,24W/W)		
	Iluminação: PBE classe A (8,15W/m <sup>2</sup> )		
	Envoltória: Upar: 3,7 / Ucob: 2,0 / α: 0,7		
	Orientação Solar: Janelas a leste e oeste		
	Entorno: <b>Parâmetro analisado</b>		
	Veneziana: Janelas sem veneziana		
<b>Cidade</b>	<b>Consumo anual de energia [kWh/m<sup>2</sup>]</b>		<b>Variação no consumo de AVAC</b>
	<b>Parâmetro analisado: Entorno</b>		
	Sem sombreamento pelo entorno	Com sombreamento de edifícios de mesma altura no entorno	
Campos do Jordão	8,28	5,91	-28,7%
São Paulo	17,13	12,81	-25,3%
Porto Alegre	28,32	22,50	-20,5%
Campinas	31,89	25,30	-20,7%
Rio de Janeiro (Vila Militar)	41,36	33,55	-18,9%
Vitória	50,53	41,70	-17,5%
Recife	69,47	57,39	-17,4%
Fortaleza	64,45	55,54	-13,8%

A Tabela 8 ilustra a variação no consumo de energia elétrica no sistema de ar condicionado à densidade de iluminação instalada. A variação no consumo do sistema de ar condicionado foi significativa, atingindo uma diferença de 25,4 % na cidade de Campos do Jordão.

**Tabela 8 - Análise de sensibilidade da iluminação.**

<b>Modelo base</b>	AVAC: Sistema split inverter (EER =3,42 W/W)		
	Iluminação: <b>Parâmetro analisado</b>		
	Envoltória: Upar: 2,5 / Ucob: 1,0 / $\alpha$ : 0,3		
	Orientação Solar: Janelas a norte e sul		
	Entorno: Com sombreamento pelo entorno		
	Veneziana: Janelas sem veneziana		
<b>Cidade</b>	<b>Consumo anual de energia [kWh/m<sup>2</sup>]</b>		<b>Varição no consumo de AVAC</b>
	<b>Parâmetro analisado: Iluminação</b>		
	PBE classe D (12,15W/m <sup>2</sup> )	PBE classe A (8,15W/m <sup>2</sup> )	
Campos do Jordão	2,64	1,96	-25,4%
São Paulo	9,60	8,03	-16,3%
Porto Alegre	13,58	12,12	-10,8%
Campinas	17,51	15,56	-11,2%
Rio de Janeiro (Vila Militar)	22,16	20,02	-9,6%
Vitória	26,18	23,99	-8,3%
Recife	33,43	31,25	-6,5%
Fortaleza	34,62	32,38	-6,5%

O material utilizado na construção do edifício também interfere no consumo energético final. Neste caso foram variadas as transmitâncias térmicas e absorvâncias das paredes e cobertura. Verifica-se através da Tabela 9 que a envoltória com menores valores de transmitância e absorvância pode apresentar até 30,3% de economia nos sistemas de ar condicionado em relação a uma envoltória menos eficiente. Portanto este também será um parâmetro de entrada que irá balizar o consumo de energia na equação de *benchmarking*.

**Tabela 9 - Análise de sensibilidade do material construtivo da envoltória.**

<b>Modelo base</b>	AVAC: Sistema split (EER =3,24 W/W)		
	Iluminação: PBE classe A (8,15 W/m <sup>2</sup> )		
	Envoltória: <b>Parâmetro analisado</b>		
	Orientação Solar: Janelas a norte e sul		
	Entorno: Com sombreamento pelo entorno		
	Veneziana: Janelas com veneziana		
<b>Cidade</b>	<b>Consumo anual de energia [kWh/m<sup>2</sup>]</b>		<b>Varição no consumo de AVAC</b>
	<b>Parâmetro analisado: Envoltória</b>		
	Upar: 3,7 / Ucob: 2,0 / $\alpha$ : 0,7	Upar: 2,5 / Ucob: 1,0 / $\alpha$ : 0,3	
Campos do Jordão	5,48	3,82	-30,3%
São Paulo	11,85	10,24	-13,6%
Porto Alegre	21,37	17,00	-20,5%
Campinas	24,04	20,58	-14,4%
Rio de Janeiro (Vila Militar)	31,99	27,09	-15,3%
Vitória	39,72	32,83	-17,3%
Recife	55,40	44,40	-19,9%
Fortaleza	54,48	45,64	-16,2%

O próprio sistema de condicionamento ambiental possui diversas tecnologias com eficiências energéticas distintas e impactam no consumo de energia total de uma edificação. A Tabela 10 ilustra a diferença no consumo de energia dos sistemas Split, mais comum e mais barato para se implantar e o sistema Inverter, que apesar do custo maior de implantação, consome menos energia para manter condições confortáveis de permanência prolongada no ambiente. Este parâmetro também será utilizado para balizar a eficiência energética do usuário final na equação de *benchmarking*.

**Tabela 10 – Diferença no consumo de energia dos sistemas de condicionamento ambiental.**

Modelo base	AVAC: <b>Parâmetro analisado</b>		
	Iluminação:	PBE classe A (8,15 W/m <sup>2</sup> )	
	Envoltória:	Upar: 3,70 / Ucob: 2,0 / α: 0,7	
	Orientação Solar:	Janelas a leste e oeste	
	Entorno:	Sem sombreamento pelo entorno	
	Veneziana:	Janelas sem veneziana	
Cidade	Consumo anual de energia [kWh/m <sup>2</sup> ]		Variação no consumo de AVAC
	Parâmetro analisado: sistema AVAC		
	Split tradicional (EER =3,24,W/W)	Split Inverter (EER =3,42,W/W)	
Campos do Jordão	8,28	4,41	-46,8%
São Paulo	17,13	11,40	-33,4%
Porto Alegre	28,32	17,24	-39,1%
Campinas	31,89	20,94	-34,4%
Rio de Janeiro (Vila Militar)	41,36	26,66	-35,6%
Vitória	50,53	32,18	-36,3%
Recife	69,47	42,22	-39,2%
Fortaleza	64,45	40,81	-36,7%

## 7. EQUAÇÃO DE REGRESSÃO

Para o desenvolvimento das equações para predição do consumo de energia na tipologia de **Hotel de Pequeno Porte e Pousada**, 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, realizadas 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 das variáveis – Hotel de pequeno porte e pousada

Candidate terms: logGHR, logGDA, AVAC, ILUM, SOMB, ENVO

	-----Step 1-----		-----Step 2-----		-----Step 3-----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constant	1.5003		-0.6131		-0.9892	
ILUM	0.09875	0.000	0.09916	0.000	0.09941	0.000
logGHR			0.4971	0.000	0.4987	0.000
AVAC					0.24490	0.000
logGDA						
SOMB						
ENVO						
S	0.255618		0.168117		0.114980	
R-sq	45.26%		76.36%		88.96%	
R-sq (adj)	45.17%		76.28%		88.91%	
R-sq (pred)	44.91%		76.15%		88.82%	
Mallows' Cp	5107.51		1848.17		528.82	
	-----Step 4-----		-----Step 5-----		-----Step 6-----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constant	0.0778		0.0378		-0.0457	
ILUM	0.09956	0.000	0.09965	0.000	0.09973	0.000
logGHR	0.3039	0.000	0.3033	0.000	0.3028	0.000
AVAC	0.24563	0.000	0.24604	0.000	0.24642	0.000
logGDA	-0.11581	0.000	-0.11647	0.000	-0.11709	0.000
SOMB			0.08479	0.000	0.08517	0.000
ENVO					0.03422	0.000
S	0.102417		0.0932301		0.0850165	
R-sq	91.25%		92.76%		93.99%	
R-sq (adj)	91.20%		92.71%		93.94%	
R-sq (pred)	91.12%		92.63%		93.86%	
Mallows' Cp	290.18		133.81		7.00	

$\alpha$  to enter = 0.15,  $\alpha$  to remove = 0.15

#### Análise de variância

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	6	71.2404	11.8734	1642.74	0.000
logGHR	1	2.8400	2.8400	392.93	0.000
logGDA	1	1.7777	1.7777	245.96	0.000
AVAC	1	9.6687	9.6687	1337.71	0.000
ILUM	1	34.9823	34.9823	4839.96	0.000
SOMB	1	1.1551	1.1551	159.81	0.000
ENVO	1	0.9310	0.9310	128.81	0.000
Error	630	4.5535	0.0072		
Lack-of-Fit	153	4.3383	0.0284	62.84	0.000
Pure Error	477	0.2152	0.0005		
Total	636	75.7939			

Resumo do Modelo

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0849998	93.99%	93.94%	93.86%

**EQUAÇÃO FINAL PARA CIDADES COM GHR ABAIXO DE 54 MIL**

CONSUMO TOTAL DO EDIFÍCIO [kWh/m<sup>2</sup>/ano] = (-0,5795 + 0,3034 logGHR – 0,11703 logGDA + 0,24643 AVAC + 0,09973 ILUM + 0,08518 ENTO + 0,03422 ENVO + 0,5314 SAQ)\*n<sup>o</sup> de quartos

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 – Inverter, 2 – Split)

ILUM – Densidade de potência de iluminação instalada (W/m<sup>2</sup>)

ENVO – Transmitância térmica e absorvância da envoltória (adimensional conforme combinação)

$$U_{par}: 3,70 / U_{cob}: 2,0 / \alpha: 0,7 = 4$$

$$U_{par}: 3,70 / U_{cob}: 2,0 / \alpha: 0,3 = 3$$

$$U_{par}: 2,50 / U_{cob}: 1,0 / \alpha: 0,7 = 2$$

$$U_{par}: 2,50 / U_{cob}: 1,0 / \alpha: 0,3 = 1$$

ENTO – Condição de entorno (0 – com sombreamento por edifícios de mesma altura, 1 – sem sombreamento pelo entorno)

SAQ – Tipo de sistema de aquecimento de água para banho (0 – gás, solar, outro; 1 – chuveiro elétrico)

Número de quartos (un)

**7.2. CIDADES COM GHR ACIMA DE 54 MIL**

Análise das variáveis

	-----Step 1-----		-----Step 2-----		-----Step 3-----		-----Step 4-----		-----Step 5-----	
	Coef	P								
Constant	2.4028		1.2724		-12.039		-12.222		-12.304	
AVAC	0.5508	0.000	0.5521	0.000	0.5524	0.000	0.5540	0.000	0.55515	0.000
ILUM			0.10753	0.000	0.10755	0.000	0.10767	0.000	0.10775	0.000
logGHR					2.775	0.000	2.777	0.000	2.7787	0.000
ENVO							0.06792	0.000	0.06860	0.000
SOMB									0.14230	0.000
S		0.321553		0.198261		0.142042		0.120106		0.0965495
R-sq		42.44%		78.17%		88.83%		92.03%		94.87%
R-sq(adj)		42.29%		78.06%		88.74%		91.95%		94.80%
R-sq(pred)		41.83%		77.83%		88.60%		91.83%		94.71%
Mallows' Cp		3826.83		1218.91		442.97		210.86		6.00

Análise de variância

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	5	64.5826	12.9165	1385.63	0.000
logGHR	1	7.2712	7.2712	780.02	0.000
AVAC	1	29.3481	29.3481	3148.33	0.000
SOMB	1	1.9283	1.9283	206.86	0.000
ENVO	1	2.2265	2.2265	238.85	0.000
ILUM	1	24.4275	24.4275	2620.47	0.000
Error	375	3.4957	0.0093		
Lack-of-Fit	90	3.0416	0.0338	21.21	0.000
Pure Error	285	0.4541	0.0016		
Total	380	68.0783			

#### Resumo do Modelo

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0965495	94.87%	94.80%	94.71%

#### EQUAÇÃO FINAL PARA CIDADES COM GHR ACIMA DE 54 MIL

CONSUMO TOTAL DO EDIFÍCIO [kWh/m<sup>2</sup>/ano] = (-12,8354 + 2,7787 logGHR + 0,55515 AVAC + 0,10775 ILUM + 0,14230 ENTO + 0,06860 ENVO + 0,5314 SAQ)\*n<sup>o</sup> de quartos

Onde:

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

AVAC – Tipo de sistema de condicionamento de ar (1 – Inverter, 2 – Split)

ILUM – Densidade de potência de iluminação instalada (W/m<sup>2</sup>)

ENVO – Transmittância térmica e absortância da envoltória (adimensional conforme combinação):

$$U_{\text{par}}: 3,70 / U_{\text{cob}}: 2,0 / \alpha: 0,7 = 4$$

$$U_{\text{par}}: 3,70 / U_{\text{cob}}: 2,0 / \alpha: 0,3 = 3$$

$$U_{\text{par}}: 2,50 / U_{\text{cob}}: 1,0 / \alpha: 0,7 = 2$$

$$U_{\text{par}}: 2,50 / U_{\text{cob}}: 1,0 / \alpha: 0,3 = 1$$

ENTO – Condição de entorno (0 – com sombreamento por edifícios de mesma altura, 1 – sem sombreamento pelo entorno)

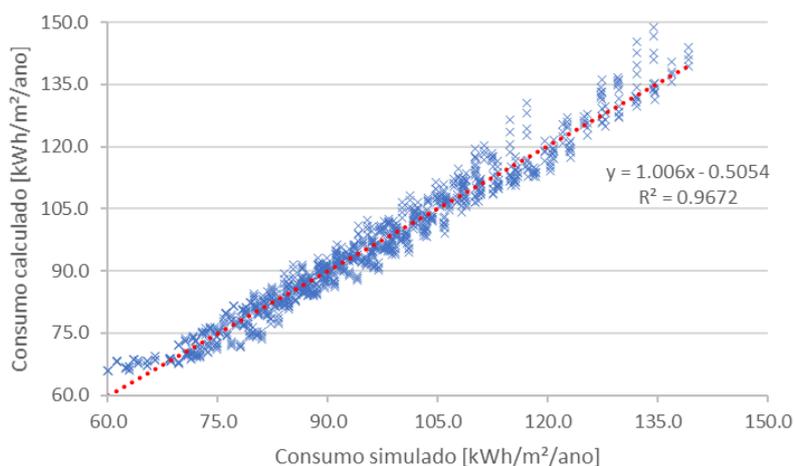
SAQ – Tipo de sistema de aquecimento de água para banho (0 – gás, solar, outro; 1 – chuveiro elétrico)

Número de quartos (un)

### 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 9 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 96,72 %, logo a equação de *benchmark* tem boa representatividade do modelo para a tipologia de Hotel de Pequeno Porte e Pousada. s.



**Figura 9 – Comparação entre o EUI simulado e o predito pela equação**

## 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 Hotel de Pequeno Porte e Pousada**

Parâmetro		Parâmetros Significativos de acordo com a cidade	
		GHR < 54mil	GHR ≥ 54mil
Cidade			
Iluminação	DPI (W/m²)	x	x
	Com sombreamento	x	x
Entorno	Sem sombreamento		
Envoltória		x	x
Tipo de AVAC	Inverter	x	x
	Split		
Tipo de Sistema de Aquecimento de Água	0 (Gás, solar, outro)	x	x
	1 (Chuveiro elétrico)		

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 12 apresenta a definição do cenário utilizado para determinar os consumos mínimos e máximos para esta tipologia.

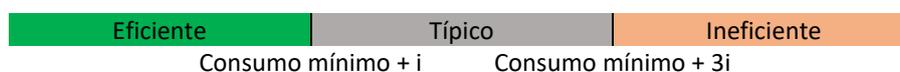
**Tabela 12 – Cenários para o cálculo de consumo mínimo e máximo para a tipologia de Hotel de Pequeno Porte e Pousada**

Parâmetros	Limites do parâmetro	
	Mínimo	Máximo
Cidade	GHR GDA	Parâmetro fixo
Tipo de AVAC	-	Split Inverter      Split
Iluminação	DPI	8,15      12,15
Envoltória	U par e cob [W/m/K]	2,5 (parede) e 1,0 (cobertura)      3,7 (parede) e 2,0 (cobertura)
Entorno		0      1
Tipo de Sistema de Aquecimento de Água	-	Parâmetro fixo

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 Hotel de Pequeno Porte localizada na cidade de Florianópolis (GHR=28602, GDA= 148.3), com sombreamento pelas edificações do entorno, condicionamento de ar split inverter, 3,6 W/m<sup>2</sup> de Iluminação, chuveiros elétricos, transmitância da parede de 2.5 W/m<sup>2</sup>.K e da cobertura 1,0 W/m<sup>2</sup>.K, cores escuras nas fachadas e cobertura e um total de 8 quartos, **calcula-se o consumo de energia em 13,7 kWh/m<sup>2</sup>/ano.**

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

**Tabela 13 – Exemplo de Escala de Eficiência – Hotel de Pequeno Porte em Florianópolis.**

Parâmetros		Mínimo	Máximo
VARIÁVEIS	AR CONDICIONADO	Tipo inverter	Split
	ILUMINAÇÃO	DPI (W/m <sup>2</sup> )	8,15      12,15
	ENTORNO	-	SIM      NÃO
	ENVOLTÓRIA	W/m <sup>2</sup> .K	2,5 (parede) e 1,0 (cobertura)      3,7 (parede) e 2,0 (cobertura)
FIXOS	FLORIANÓPOLIS	GHR=28602	
		GDA=148,3	

SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA	1	Consumo geral: <b>17,10</b>	Consumo geral: <b>24,4</b>
NÚMERO DE QUARTOS	8	[kWh/m <sup>2</sup> /ano]	[kWh/m <sup>2</sup> /ano]

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

$$i = \frac{24,40 - 17,10}{5} = 1,44$$



Considera-se nesse exemplo, portanto, que a edificação analisada apresenta consumo operacional inferior ao consumo mínimo da faixa típica (**13,7 < 18,60 kWh/m<sup>2</sup>/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 **Hotel de Pequeno Porte e Pousada**.

Os parâmetros com maior impacto no consumo de energia desta tipologia foram: graus-hora de resfriamento (GHR); graus-dia de aquecimento (GDA); tipo de sistema de condicionamento de ar (AVAC); iluminação (ILUM); condições do entorno (ENTO) e o tipo de envoltória (ENVO). O tipo de sistema de aquecimento de água para banho também é considerado no cálculo do consumo de energia pela equação.

As variações de orientação solar e presença de veneziana nas janelas não foram significativas, logo 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 ar condicionado 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, tem 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.

A transmitância térmica e a absorvância à radiação solar dos elementos de envoltória também controlam a quantidade de calor que será trocado com o meio externo e mostraram ter um impacto considerável no consumo do sistema de condicionamento de ar. O próprio funcionamento do sistema de ar condicionado irá determinar o seu consumo final. Ambos os sistemas considerados nessa análise são sistemas de expansão direta, unitários e do tipo Split. A diferença é que o compressor do sistema com a tecnologia

inverter modula a quantidade de gás refrigerante que irá para a evaporadora, evitando que ele fique ligado e desligando como em um Split tradicional.

O sombreamento da edificação por edificações vizinhas de mesma altura diminui a quantidade de carga térmica advinda da radiação solar direta que será absorvida pela edificação.

Cabe observar também que durante a condução das simulações energéticas e auditorias foram identificadas peculiaridades na composição real da tipologia que impossibilitaram a caracterização energética de forma mais precisa. Algumas áreas não tiveram seu consumo contabilizado totalmente ou o foram em parte, como por exemplo a cozinha e a lavanderia. Elas foram consideradas no consumo de iluminação, mas não foram consideradas no consumo de equipamentos, dada a grande diversidade de arranjos possíveis. Conseqüentemente, definiu-se que os consumos relativos a estes ambientes deverão ser levantados e analisados à parte das equações de *benchmark* da tipologia.

Para a tipologia de Hotel de Pequeno Porte e Pousada, o tipo de envoltória e as condições de entorno tem mais relevância na estimativa do consumo de energia do que as áreas e a taxa de ocupação dos quartos.

As equações desenvolvidas não se aplicam em pousadas em que cada unidade de hospedagem ocupa uma edificação independente (chalés), uma vez que a aplicação das equações nas edificações auditadas com configuração em múltiplos edifícios apresentou desvio significativo, não conclusivo se em função da configuração das edificações ou se em virtude da não consideração das cargas do sistema de iluminação externa ou das específicas dos equipamentos de cozinha e lavanderia.

Ao término dos trabalhos, percebe-se que o que diferencia o uso das equações para esta tipologia em relação à adoção das equações das tipologias de **Hotel do tipo Resort** e de **Hotel Vertical de Médio e Grande Porte** é o porte do empreendimento. As equações aqui desenvolvidas para a tipologia de **Hotel de Pequeno Porte e Pousada** são aplicáveis para hotéis com no máximo 40 quartos e até 1.500 m<sup>2</sup> de área construída.

Com a previsão do consumo de energia em relação ao consumo simulado, verificou-se que as equações têm um R<sup>2</sup> de 96,72%, logo os modelos regressivos empregados foram representativos para prever o consumo de energia para a tipologia de **Hotel de Pequeno Porte e Pousada**.

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 para a tipologia de Hotel de Pequeno Porte e Pousada**

Parâmetros analisados	Parâmetros na equação para GHR < 54 mil	Parâmetros na equação para GHR > 54 mil
Clima GHR	✓	✓
Clima GDA	✓	
AVAC	✓	✓
Iluminação	✓	✓
Entorno	✓	✓
Envoltória	✓	✓
Sistema de aquecimento de água	✓	✓
Orientação Solar		
Veneziana		

## 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.