



**CBCS**

Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

## **RT2B.09: Desenvolvimento de arquétipo, modelo de simulação, análise de sensibilidade e equações de *benchmark* para a tipologia de Restaurante e Preparação de Alimentos.**

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 08/03/2021**

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 Restaurante e Preparação de Alimentos.

## Sumário

<b>Sumário</b> .....	<b>1</b>
<b>1. CONTEXTUALIZAÇÃO E METODOLOGIA</b> .....	<b>2</b>
1.1. 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 .....	9
4.4. Sombreamento e orientação solar .....	10
4.5. Envoltória E TIPO DE VIDRO .....	11
4.6. Definição da carga térmica e ar condicionado .....	12
<b>5. MODELO DE SIMULAÇÃO</b> .....	<b>14</b>
5.1. Cenários de simulação .....	14
5.2. Método de análise dos resultados das simulações .....	14
<b>6. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE</b> .....	<b>16</b>
6.1. ANÁLISE EM Cidades com ghr abaixo de 54 mil .....	16
6.2. análise em Cidades com ghr acima de 54 mil .....	18
6.3. análise para o cenário sem ar condicionado .....	19
6.4. análise do impacto DOS PARÂMETROS SIGNIFICATIVOS .....	20
<b>7. EQUAÇÃO DE REGRESSÃO</b> .....	<b>24</b>
7.1. Cidades com GHR ACIMA de 54 mil .....	24
7.2. Cidades com GHR abaixo de 54 mil .....	26
7.3. Avaliação entre o consumo simulado e o consumo calculado .....	27
7.4. Cenário sem ar condicionado .....	28
<b>8. ESCALAS DE CONSUMO DE ENERGIA</b> .....	<b>29</b>
8.1. Método para cálculo das escalas .....	29
8.2. Exemplo de aplicação .....	30
<b>9. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>31</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>33</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.

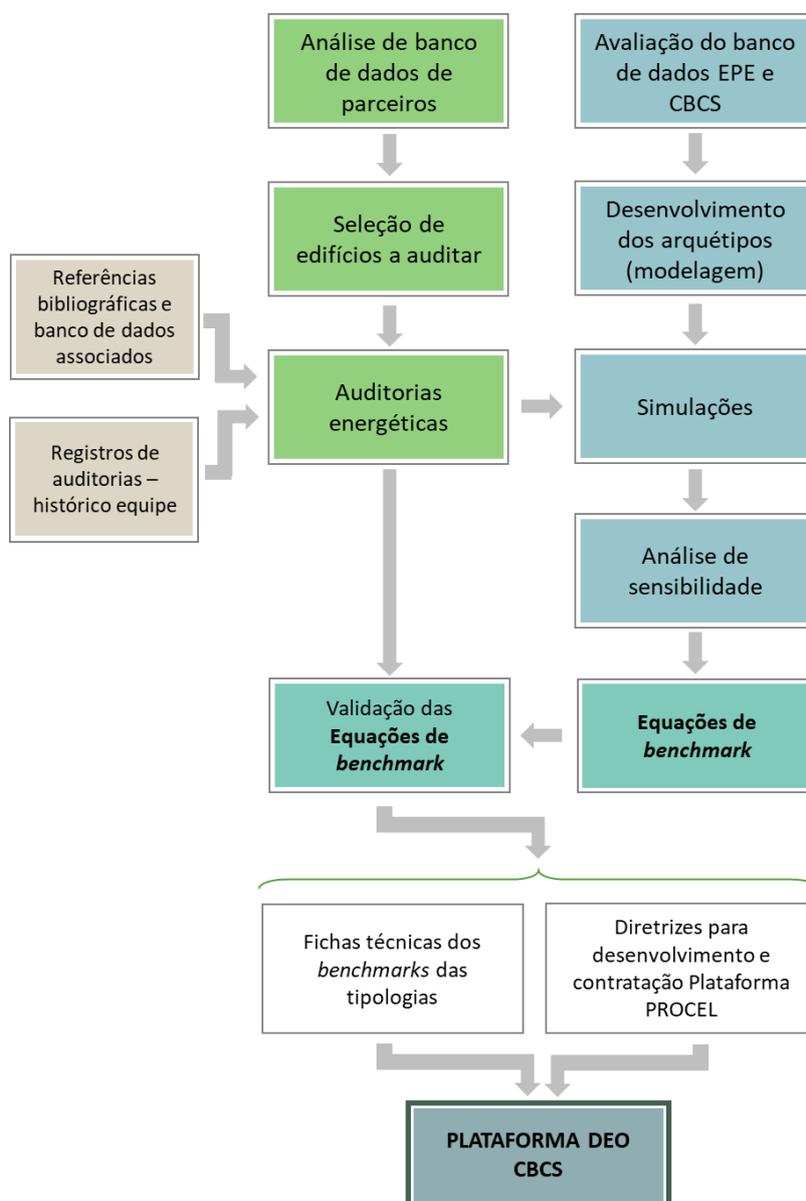
É clara a necessidade de avanços para o desenvolvimento de um programa nacional de gestão energética em edificações existentes e a pertinência do presente convênio. Sendo assim, para melhor entender o consumo energético das edificações em operação, a fim de permitir a gestão destes consumos e operações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

### 1.1. 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.

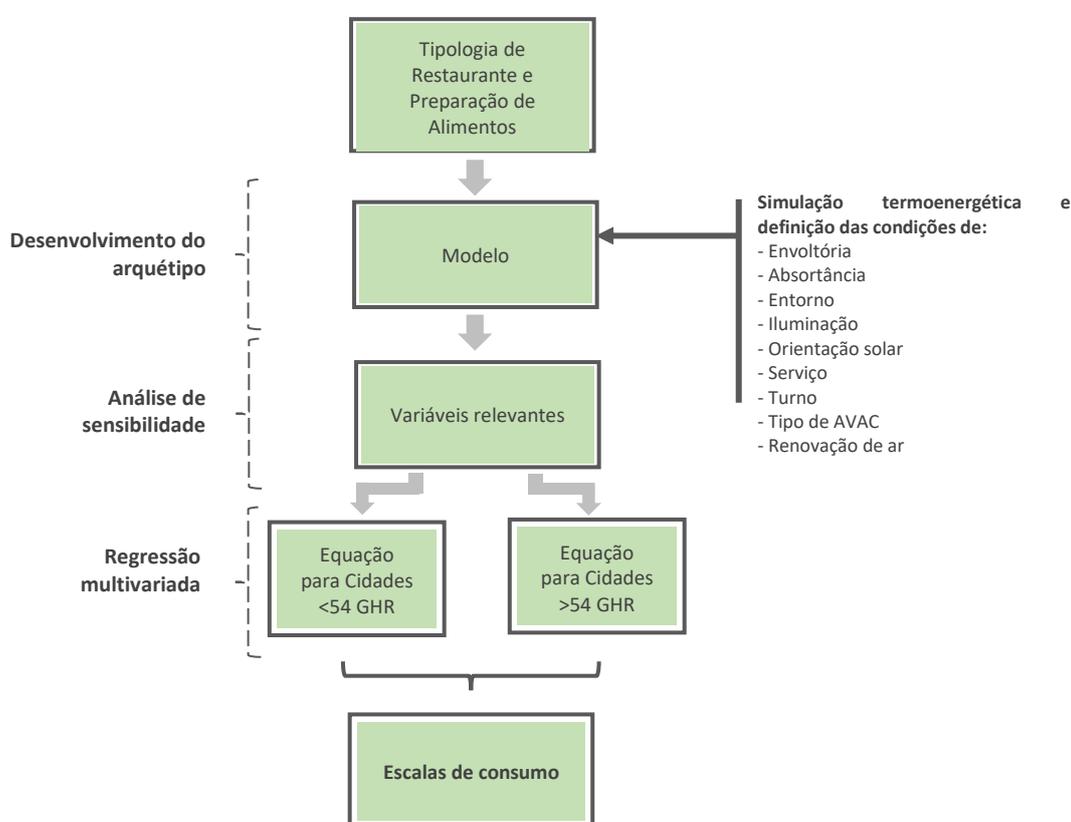


**Figura 1 - Método aplicado pelo CBCS para o desenvolvimento dos benchmarks no âmbito deste convênio**

## 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 **Restaurante e Preparação de Alimentos**.

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, entorno, ocupação, densidade de equipamentos, 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 Restaurante e Preparação de Alimentos**

### 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 **Restaurante e Preparação de Alimentos** constitui-se tipicamente por edifícios térreos, composto por cozinha e um único salão de atendimento ao público, que é a atividade fim desta tipologia.

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 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: **cozinha e salão**.

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.

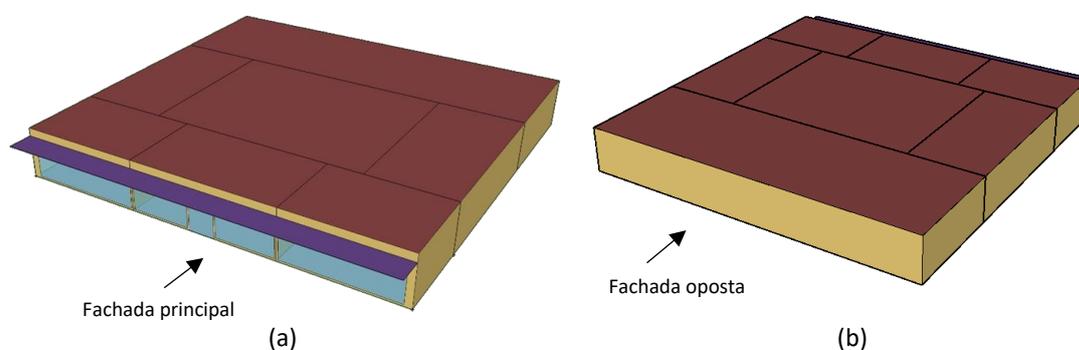
**Tabela 2 – Áreas dos ambientes considerados.**

Ambiente	Quantidade	Área total (m <sup>2</sup> )	Percentual na área total
Salão	1	340,5	68,18%
Cozinha	1	158,9	31,82%
<b>TOTAL</b>	<b>2</b>	<b>499,4</b>	<b>100%</b>

O modelo do edifício foi construído com base em uma edificação de pavimento único de dimensões 22,70 m x 22,0 m x 3,0 m (L x C x A), totalizando 499,40 m<sup>2</sup>. A Figura 3 apresenta a planta e configuração dos ambientes considerados e a Figura 4 as perspectivas do modelo.



**Figura 3 – Configuração da planta do arquétipo.**



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

As cozinhas dos restaurantes apresentam uma diversidade considerável de equipamentos, se eles são elétricos ou à gás, se tem processos automatizados ou não, como lavadora de louças entre outros. Por esta razão, os equipamentos da cozinha não foram considerados nessa simulação e devem ter entrada de dados específica, conforme equipamentos presentes e perfis de utilização.

#### 4.2. ILUMINAÇÃO

Para a iluminação artificial foram definidos dois cenários: um cenário mais eficiente (ILUM02) representando as lâmpadas tipo LED com densidade de potência de iluminação (DPI) de 8,4 W/m<sup>2</sup> e de 11,4 W/m<sup>2</sup>, respectivamente para o salão e a cozinha; e um outro cenário menos eficiente (ILUM01) representando as lâmpadas fluorescentes e/ou incandescentes com DPI de 13,9 W/m<sup>2</sup> e 17,12 W/m<sup>2</sup> para o salão e a cozinha. Esses valores correspondem, respectivamente, a uma classe A e classe D, com valores determinados para cada tipo de ambientes presentes no arquétipo, segundo a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas - INI-C (CB3E, 2020).

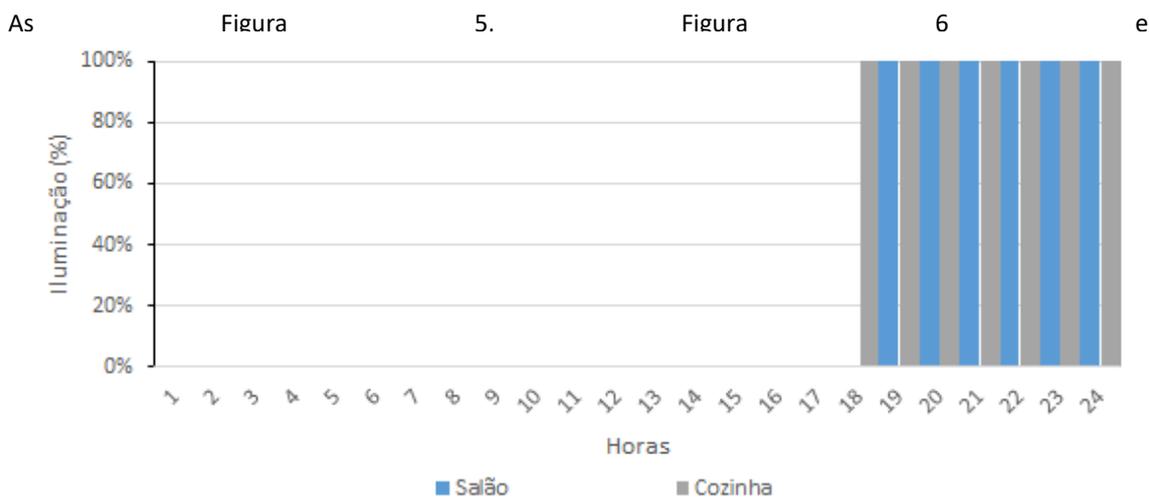


Figura 7 ilustram a ocupação para os turnos de funcionamento almoço e jantar (TURN01), só almoço (TURN02) e só jantar (TURN03), respectivamente, para 100% da área dos ambientes Salão e Cozinha.

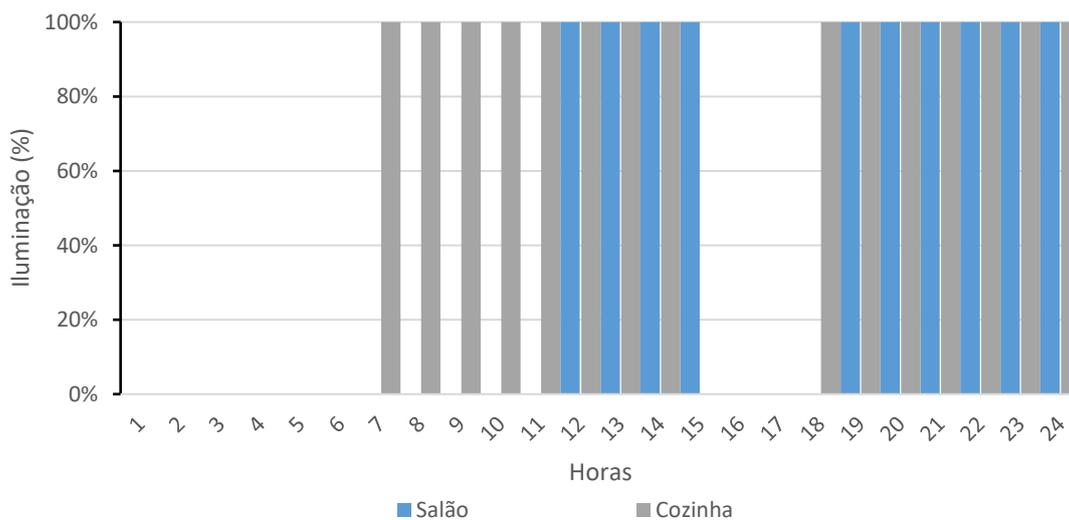
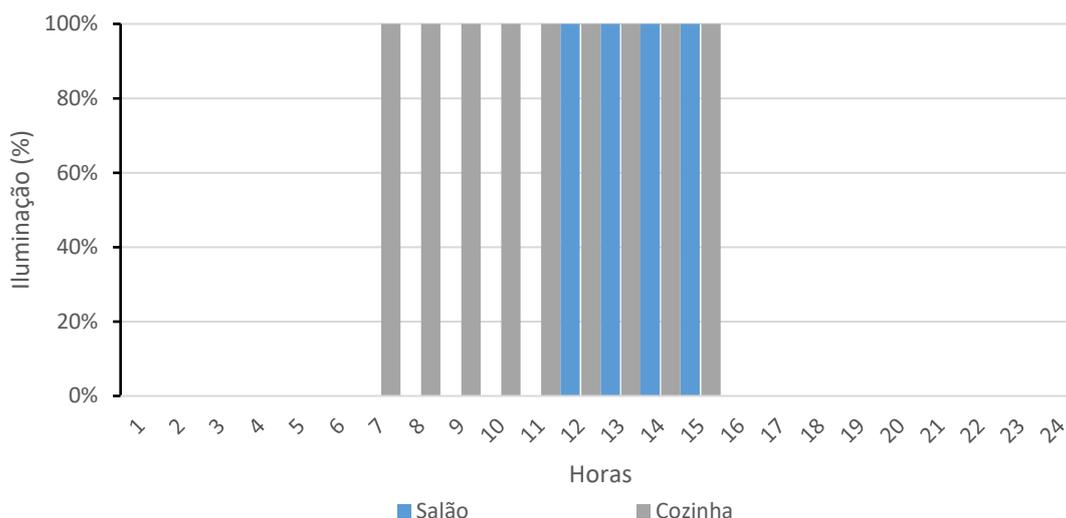
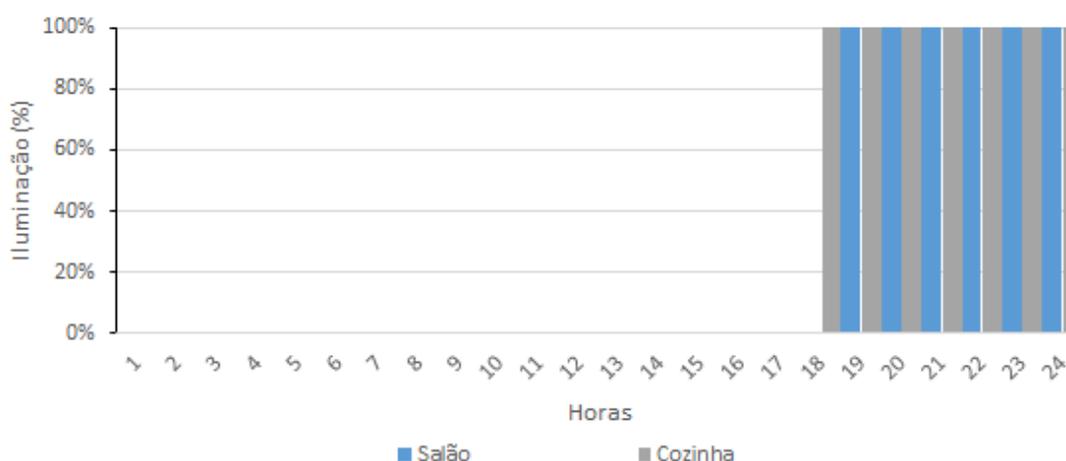


Figura 5– Cronograma adotado para Iluminação no TURN01 (almoço e jantar)



**Figura 6– Cronograma adotado para Iluminação no TURN02 (só almoço)**



**Figura 7– Cronograma adotado para Iluminação no TURN03 (só jantar)**

### 4.3. OCUPAÇÃO

Foram considerados dois tipos de serviço nas simulações, o serviço tipo *buffet*/bandejão e o serviço tipo *à la carte*. O tipo de serviço impacta principalmente na densidade de potência de equipamentos e densidade de ocupação a serem considerados nas zonas que representam o salão. Para o serviço tipo *buffet* (SERV01) foram considerados 37,6 W/m<sup>2</sup> de equipamentos e 1,5 m<sup>2</sup> por pessoa de ocupação. Para o serviço tipo *à la carte* (SERV02) foram considerados 7 W/m<sup>2</sup> de equipamentos e 2 m<sup>2</sup> por pessoa de ocupação.

Para os turnos de funcionamento foram considerados três: almoço e jantar (TURN01), só almoço (TURN02) e só jantar (TURN03).

As **Figura 8**, Figura 9 e

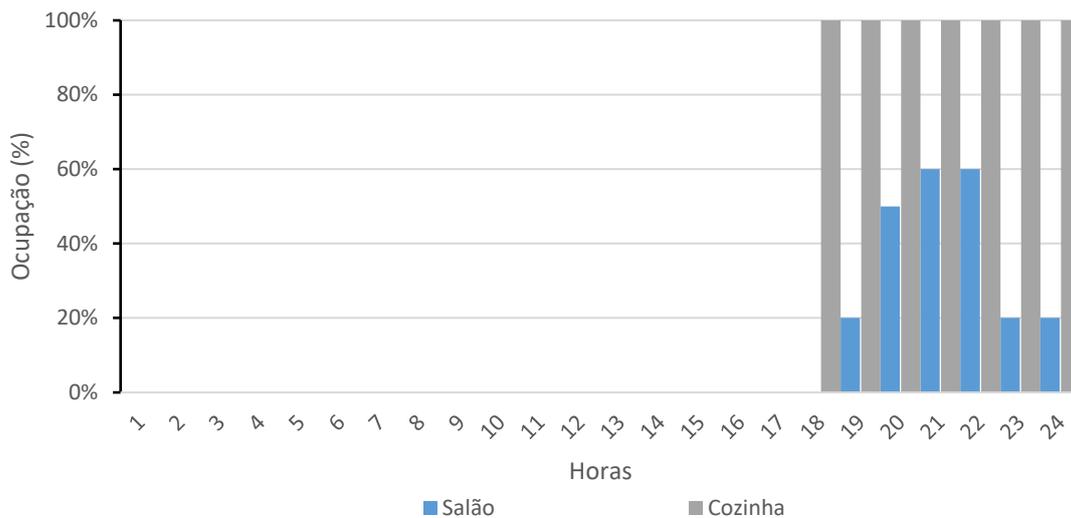
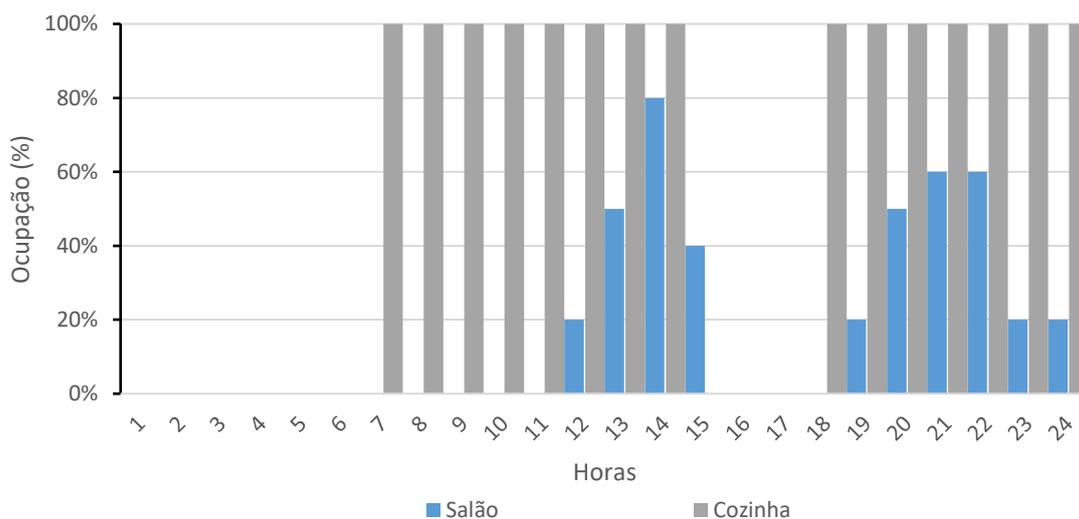
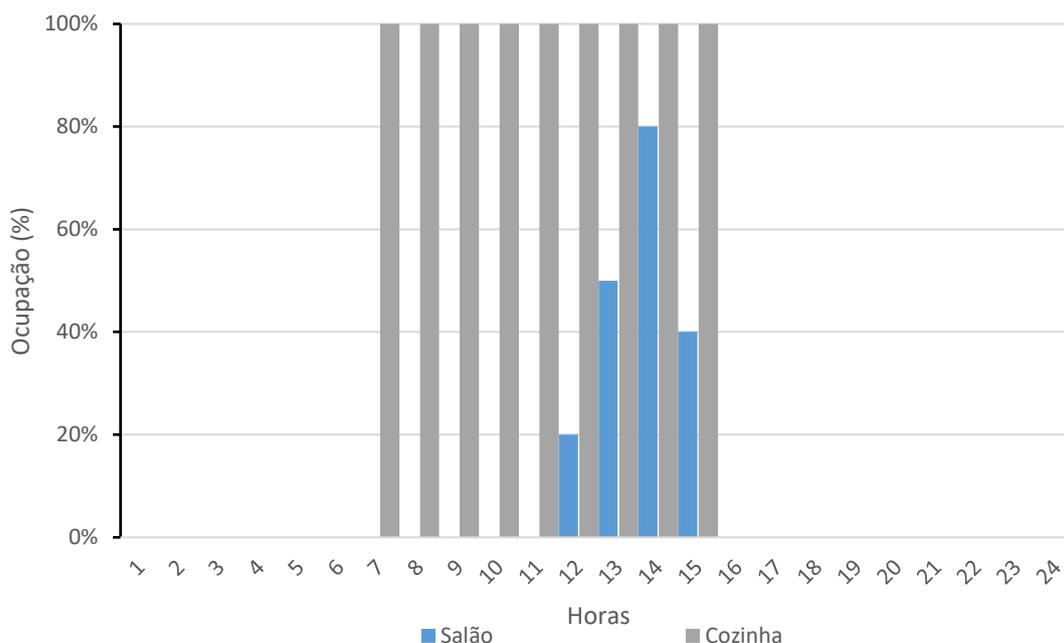


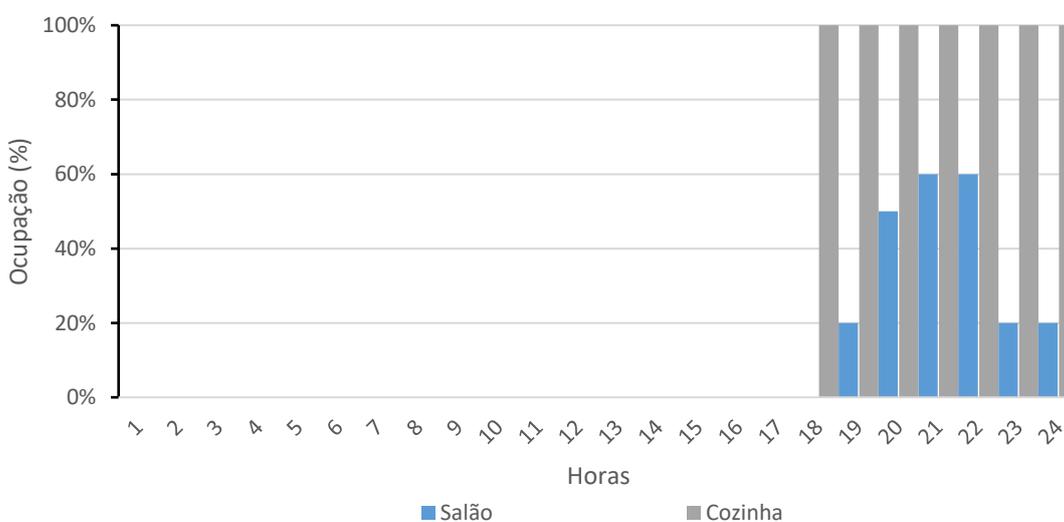
Figura 10 ilustram a ocupação para os turnos de funcionamento almoço e jantar (TURN01), só almoço (TURN02) e só jantar (TURN03), respectivamente, para os ambientes Salão e Cozinha.



**Figura 8– Cronograma adotado para ocupação no TURN01 (almoço e jantar)**



**Figura 9– Cronograma adotado para ocupação no TURNO2 (só almoço)**



**Figura 10– Cronograma adotado para ocupação no TURNO3 (só jantar)**

#### 4.4. SOMBREAMENTO E ORIENTAÇÃO SOLAR

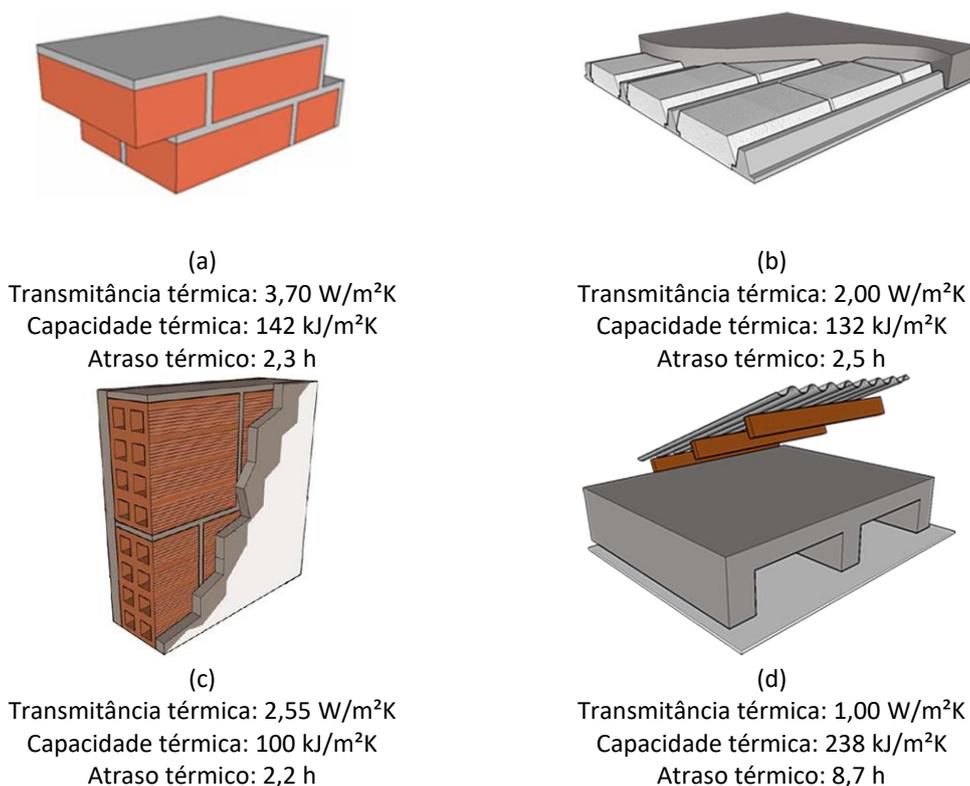
No levantamento feito para a definição do arquétipo, foram identificadas duas situações bem distintas em relação à exposição da envoltória ao ambiente externo. Na primeira o restaurante está localizado em uma edificação em que todas ou a maioria das faces da envoltória estão expostas a sol e vento (ENTO01). Na segunda o restaurante está inserido em uma edificação maior e apenas a sua fachada principal está

exposta ao ambiente externo (ENTO02), as demais superfícies externas como cobertura, paredes laterais e de fundos foram consideradas adiabáticas nesse cenário.

Foram considerados quatro cenários de orientação solar, usando a fachada principal como referência temos: 0° - Sul (ORIE01), 90° - Oeste (ORIE02), 180° - Norte (ORIE03), e 270° - Leste (ORIE04).

#### 4.5. ENVOLTÓRIA E TIPO DE VIDRO

Para definir os cenários que representam a eficiência da envoltória da edificação, foram adotados dois cenários em que as paredes e coberturas variavam em conjunto. A Figura 11 apresenta os elementos construtivos de referência para parede e cobertura que foram utilizados nas simulações. No cenário ENVO01 foi utilizada a parede determinada na figura 11.a e a cobertura na figura 11.b e na ENVO02, a parede determinada na figura 11.c e cobertura na figura 11.d.



**Figura 11 – Elementos construtivos de referência para: Cenário ENVO01 (a) Paredes e (b) Cobertura; Cenário ENVO02 (c) Paredes e (d) Cobertura**

Sobre a absorvância, como relaciona-se à cor e esta é uma característica amplamente variável no estoque de edificações, foram definidos dois cenários de variação: o primeiro cenário considerando cores mais escuras e absorvância de 0,7 (ENVO01) e o segundo cenário considerando cores mais claras e absorvância de 0,3 (ENVO02).

Em todos os casos, foram considerados restaurantes 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.

#### 4.6. 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).

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 – Cenário considerado para cálculo de carga térmica**

Variável	Cenário
Envoltória	ENVO01
Absortância	ASOL01
Entorno	ENTO01
Iluminação	ILUM01
Orientação solar	ORIE02 (OESTE)
Serviço	SERV01
Turno	TURN01
Renovação de ar	RENO02

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 ar condicionado do arquétipo. Esta seleção foi feita com base em equipamentos existentes no mercado, sendo escolhido o equipamento de capacidade superior a carga térmica definida. O equipamento foi modelado na simulação termoenergética do arquétipo.

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

A

<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)

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)
<b>Campos do Jordão*</b>	SP	<b>1</b>	<b>20.3</b>
São Paulo	SP	3	19.8
Porto Alegre	RS	3	19.0
Campinas	SP	3	19.2
Rio de Janeiro (Vila Militar)	RJ	8	18.7
Vitória	ES	8	16.9
Recife	PE	8	17.6
Fortaleza	CE	8	16.6

\* Cidade selecionada

Percebe-se que, dentre as cidades selecionadas como representativas, a cidade com maior carga térmica foi o Campos do Jordão, com 20.3 TR. Dessa forma, o arquivo climático do Campos do Jordão foi selecionado como referência para dimensionamento do sistema de ar condicionado considerado no arquétipo.

Como cenário menos eficiente para o cenário AVAC foram considerados sistemas individuais tipo *Split* para cada zona térmica, com EER médio de 3,24 W/W. Como cenário mais eficiente foram considerados sistemas split do tipo *Inverter* que possuem EER médio de 3,55 W/W. Foi considerado também um cenário sem sistema de ar condicionado, apenas com ventiladores. Neste cenário os ventiladores foram considerados apenas pelo seu consumo de energia.

Para minimizar a infiltração de ar externo no ambiente condicionado durante o acesso das pessoas ao interior da edificação, ou durante a sua saída, utiliza-se o recurso de portas automáticas (RENO02) permitindo a troca de ar somente durante o período em que a porta fica aberta. De acordo com as características da edificação simulada e baseado nas orientações no Capítulo 16 do “Handbook of Fundamentals 2017” da ASHRAE, estima-se que as aberturas das portas permitem na média cerca de 6,5 trocas de ar por hora na zona da entrada.

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. Por outro lado, manter as portas sempre abertas pode ser mais atrativo para o cliente por não haver um bloqueio ao seu acesso. Estima-se, no entanto, que este cenário (RENO03), baseado em Gil-Lopez (2013), permite cerca de 10,5 trocas de ar por hora na zona da entrada, que a depender do clima externo pode resultar em um grande aumento no consumo de energia pelo sistema de ar condicionado. Uma alternativa para que as portas possam ficar sempre abertas, porém sem sobrecarregar o sistema de ar condicionado, é a utilização da cortina de ar (RENO01), que apesar de reduzir a infiltração de ar no ambiente interno, possui um consumo constante de energia para manter a barreira de ar em operação. Ainda baseado em Gil-Lopez (2013), esta alternativa permite apenas 0,4 troca de ar por hora.

## 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, 2.316 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 (13,9W/m <sup>2</sup> para o salão e 17,12W/m <sup>2</sup> para cozinha)
	ILUM02	Iluminação com DPI PBE classe A (8,4W/m <sup>2</sup> para o salão e 11,4W/m <sup>2</sup> para cozinha)
Entorno	ENTO01	Envoltória toda exposta
	ENTO02	Envoltória adiabática (fachada principal exposta)
Orientação solar	ORIE01	Frente orientada a Sul
	ORIE02	Frente orientada a Oeste
	ORIE03	Frente orientada a Norte
	ORIE04	Frente orientada a Leste
Envoltória	ENVO01	Uparede = 3,70 W/m <sup>2</sup> .K; Ucobertura = 2,00 W/m <sup>2</sup> .K
	ENVO02	Uparede = 2,55 W/m <sup>2</sup> .K; Ucobertura = 1,00 W/m <sup>2</sup> .K
Absortância	ASOL01	Absortância = 0,70
	ASOL02	Absortância = 0,30
AVAC	Split	Sistema Split (EER 3,24 W/W)
	Split Inverter	Sistema Inverter (EER = 3,55 W/W)
	Ventiladores	Ventiladores
Tipo de Serviço (equipamentos e ocupação)	SERV01	Buffet (37,6 W/m <sup>2</sup> de equipamentos e 1,5 m <sup>2</sup> por pessoa de ocupação)
	SERV02	À la carte (7 W/m <sup>2</sup> de equipamentos e 2 m <sup>2</sup> por pessoa de ocupação)
Turno	TURN01	Almoço e jantar
	TURN02	Almoço
	TURN03	Jantar

Notas:

U = Transmitância térmica;

### 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 consequentemente 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	
Vitória	ES	-20,32	-40,34	9	54.061	>54.000 GHR
Recife	PE	-8,05	-34,88	10	63.550	
Fortaleza	CE	-3,8	-38,53	41	71.394	

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

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

Além disso, como neste arquétipo só foram considerados os ambientes salão e a cozinha (exceto equipamentos), a contribuição dos demais ambientes não foram considerados, tais como depósitos, câmaras frias e escritórios, que podem possuir cargas especiais, não foi modelada no arquétipo. 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.

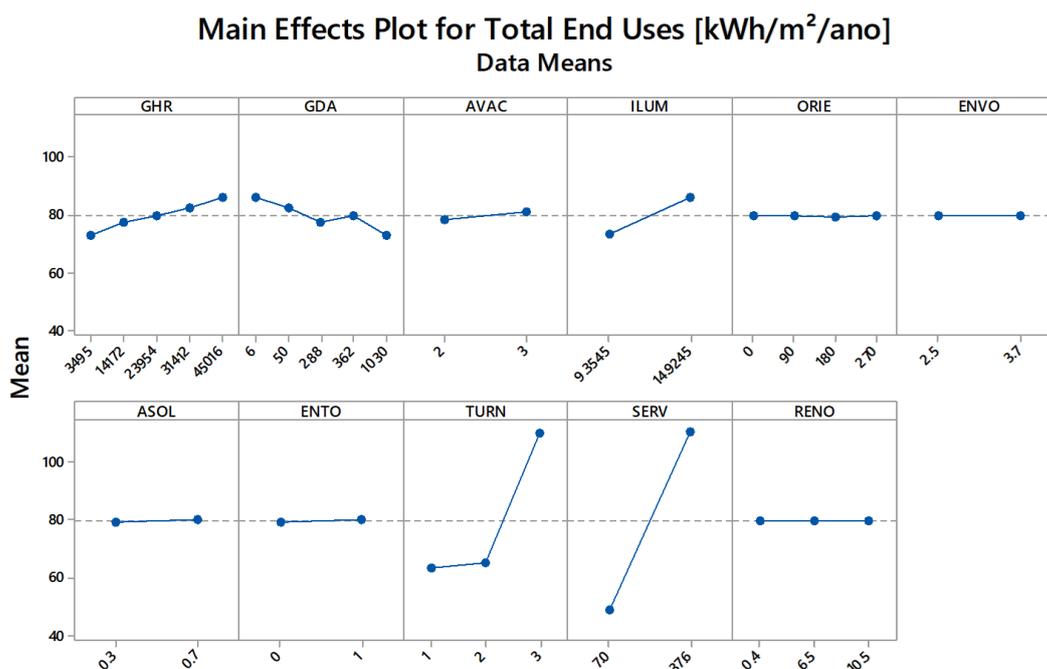
É importante mencionar que os parâmetros que os usuários tenham dificuldade para levantar ou identificar, ou que tenham pouco impacto no consumo final da edificação, não foram considerados nas equações. Essa definição é importante para tornar o uso da ferramenta de *benchmarking* fácil e acessível.

Os parâmetros analisados foram: tipo de sistema de ar condicionado (AVAC), iluminação (ILUM), orientação solar (ORIE), envoltória (ENVO), absortância (ASOL), entorno (ENTO), turno (TURN), equipamentos do serviço (SERV) e renovação de ar (RENO). Além disso, a carga térmica, influenciada pela cidade (GHR, GDA) também foi um parâmetro analisado.

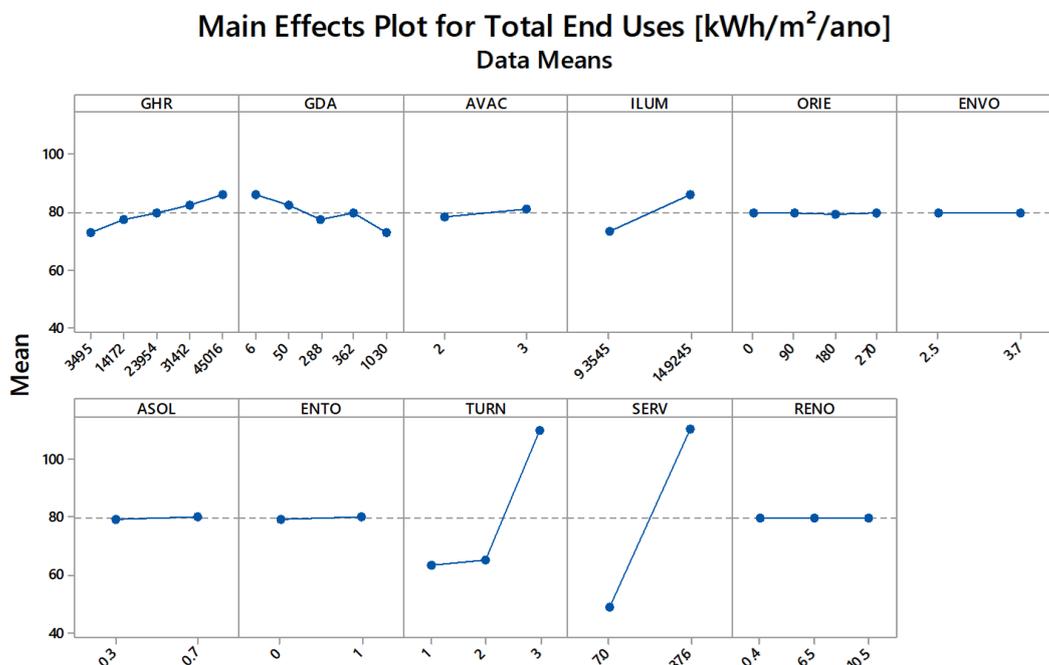
Assim, para as equações de *benchmark*, foram considerados somente os parâmetros cuja variação apresentou impacto significativo no consumo energético total do edifício. Esses parâmetros podem apresentar um consumo direto, por meio do seu uso efetivo (potência e funcionamento), ou um consumo indireto, 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

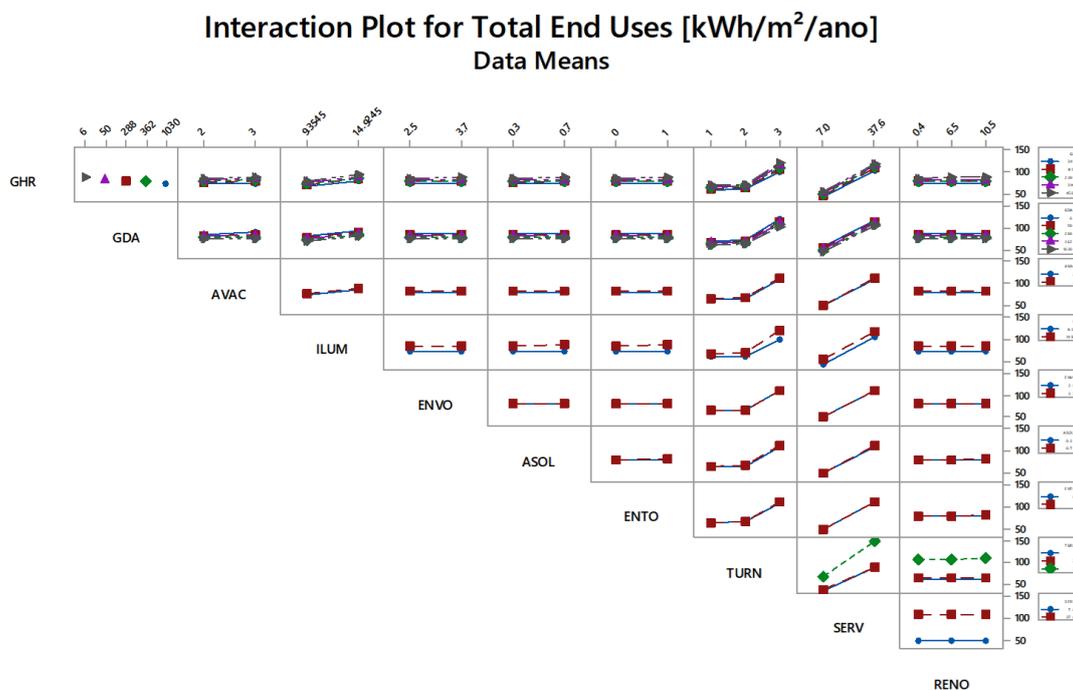
Por meio das



**Figura 12** e Figura 13, verifica-se que os parâmetros com variações mais significativas são o GHR, GDA, ILUM, TURN e SERV. As variações dos parâmetros AVAC, ORIE, ENVO, ASOL, ENTO e RENO tiveram um impacto pequeno no cálculo do consumo de energia e foram desconsiderados nas análises da equação de regressão da tipologia de **Restaurante e Preparação de Alimentos** para GHR abaixo de 54 mil.



**Figura 12 - Efeito dos parâmetros no consumo de energia**



**Figura 13 - Interação entre os parâmetros**

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

Por meio das Figura 14 e Figura 15, verifica-se que os parâmetros mais relevantes são o GHR, AVAC, ILUM, TURN e SERV. As variações dos parâmetros ORIE, ENVO, ASOL, ENTO e RENO tiveram um impacto pequeno no cálculo do consumo de energia e foram desconsiderados nas análises da equação de regressão da tipologia de **Restaurante e Preparação de Alimentos** para GHR acima de 54 mil.

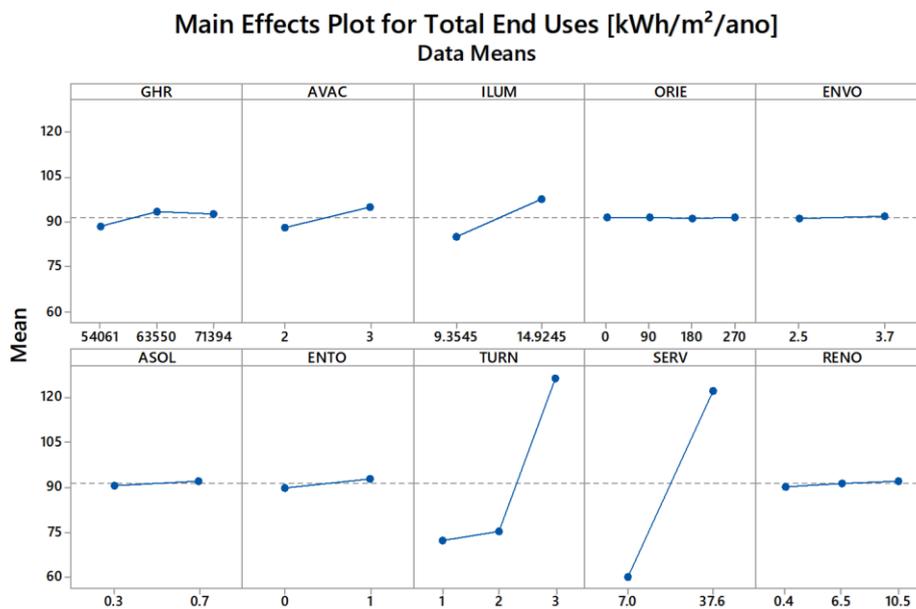


Figura 14 - Efeito dos parâmetros no consumo de energia

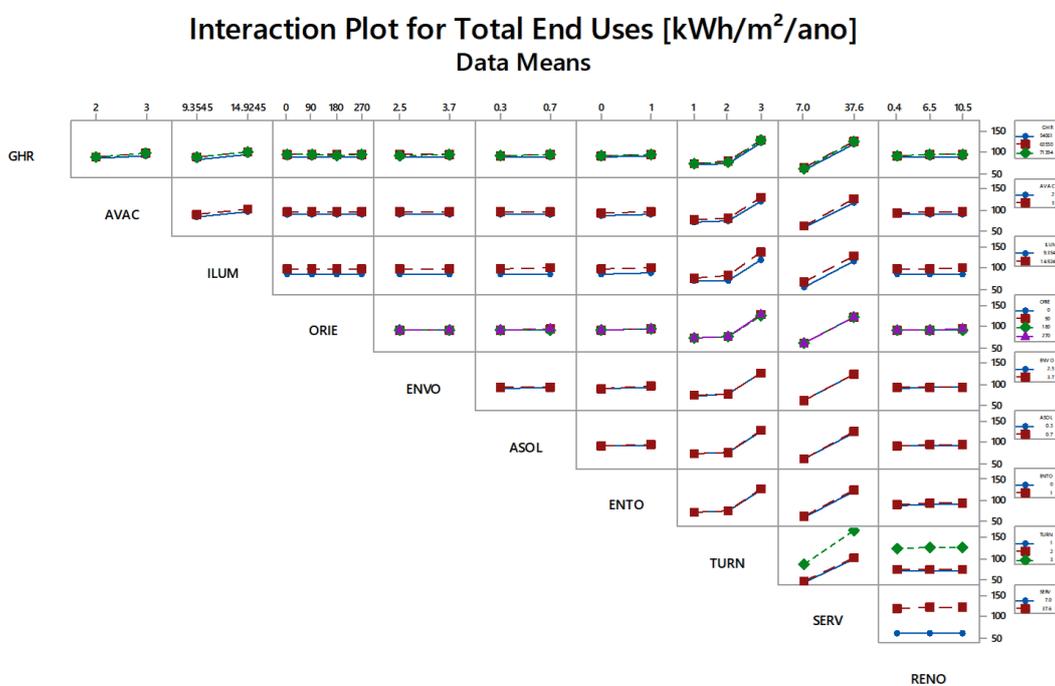


Figura 15 - Interação entre os parâmetros

### 6.3. ANÁLISE PARA O CENÁRIO SEM AR CONDICIONADO

Pelos gráficos que mostram as relações entre as variáveis e o consumo total do modelo para o cenário sem ar condicionado (

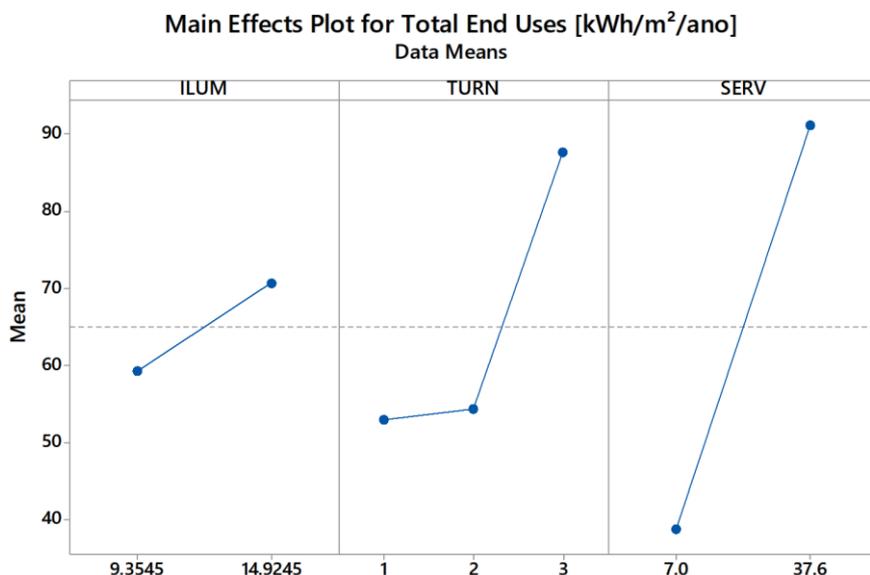


Figura 16 e Figura 17) verificamos que as variáveis mais relevantes são o ILUM, TURNO e SERV. Por não possuir um sistema de ar condicionado, nesse cenário, as variáveis que identificam o clima (GHR e GDA) e as que determinam a troca de calor com o meio externo (ENVO, ASOL, ORIE, ENTO) não possuem impacto no consumo final de energia da edificação, não entrando na equação de regressão da tipologia de **Restaurante e Preparação de Alimentos** neste cenário.

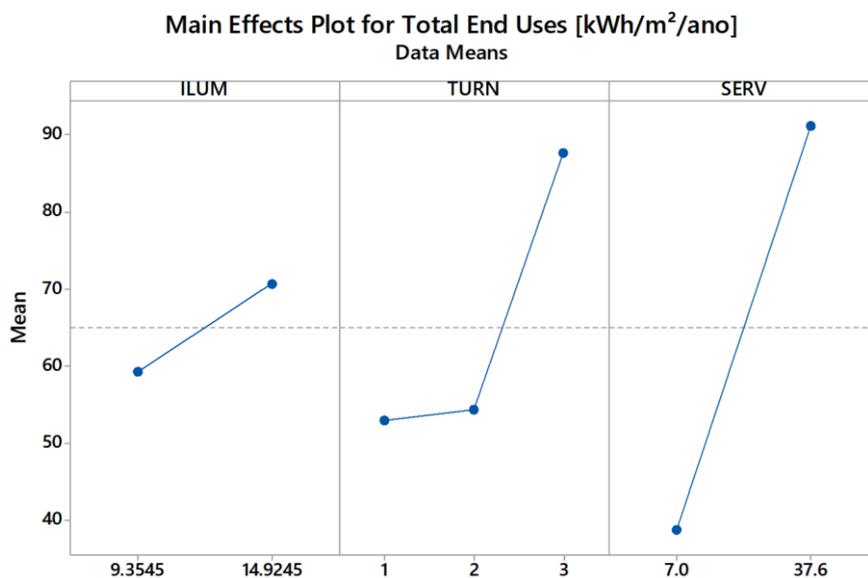


Figura 16. Efeito dos parâmetros no consumo de energia

Interaction Plot for Total End Uses [kWh/m<sup>2</sup>/ano]  
Data Means

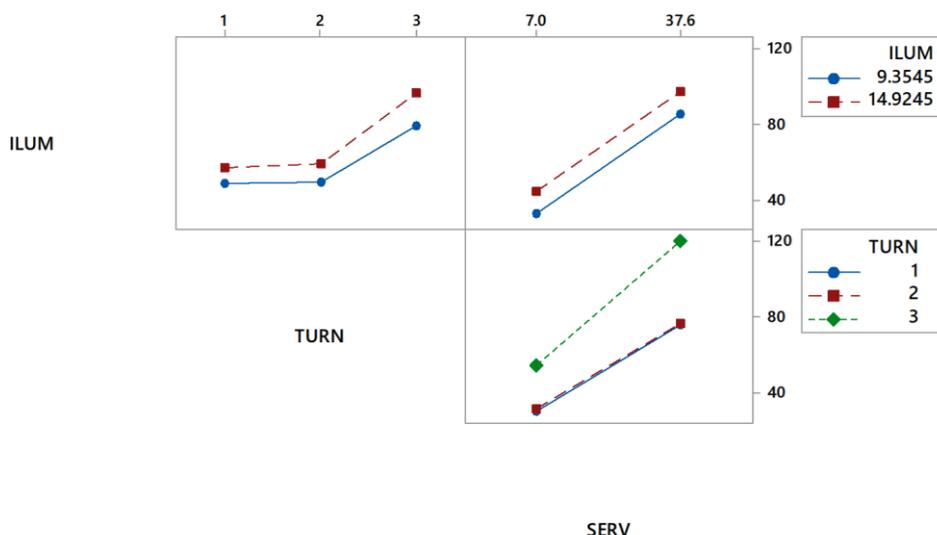


Figura 17. Interação entre os parâmetros

#### 6.4. 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, TURN e SERV.

O sistema de iluminação, além do consumo próprio de energia elétrica, também aumenta a carga térmica dentro da edificação, influenciando o consumo de energia do sistema de condicionamento de ar. A

Tabela 7 ilustra a variação no consumo de energia elétrica no sistema de condicionamento de ar devido à densidade de iluminação instalada. A variação no consumo do sistema de condicionamento de ar foi significativa, atingindo uma redução de 26% no cenário com sistema de iluminação PBE classe A em relação ao cenário com sistema de iluminação PBE classe D, na cidade de Campos do Jordão para o cenário descrito na tabela.

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

Modelo base	AVAC:	Sistema split (EER =3,24W/W)
	<b>Iluminação:</b>	<b>Parâmetro analisado</b>
	Envoltória:	$U_{par}: 2,5 / U_{cob}: 1,0$
	Absortância	$\alpha: 0,3$
	Orientação Solar:	Fachada principal a sul
	Entorno	Adiabático
	Turno:	Almoço e Jantar
	Serviço:	À la carte
	Renovação	Cortina de ar
Cidade	Consumo anual de energia [kWh/m <sup>2</sup> ] Parâmetro analisado: Iluminação	

	PBE classe D (13,9W/m <sup>2</sup> salão e 17,12W/m <sup>2</sup> cozinha)	PBE classe A (8,4W/m <sup>2</sup> salão e 11,4W/m <sup>2</sup> cozinha)	Varição no consumo de AVAC
Campos do Jordão	8,69	6,43	-26,0%
São Paulo	14,66	12,46	-15,0%
Porto Alegre	17,33	14,92	-13,9%
Campinas	20,29	17,95	-11,5%
Rio de Janeiro (Vila Militar)	25,85	23,29	-9,9%
Vitória	28,08	25,48	-9,3%
Recife	34,03	31,32	-8,0%
Fortaleza	33,47	30,73	-8,2%

O tipo de serviço empregado no restaurante tem um grande impacto no consumo de energia, conforme mostrado na

Tabela 8. Nas simulações conduzidas, o tipo de serviço determina a densidade de potência de equipamentos e a densidade de ocupação de pessoas. Em serviços tipo *buffet* ou bandejão, há uma densidade mais alta, uma vez que a maioria dos equipamentos ligados ao serviço estão localizados dentro do salão. São necessários os buffets quente e refrigerado, as geladeiras com bebidas, refrigeradores para as sobremesas e afins. Já no caso do serviço *à la carte* é mais comum que esses equipamentos estejam dentro da cozinha, ficando no salão apenas computadores para o caixa, máquinas de café e outros equipamentos menores.

A diferença de consumo no sistema de ar condicionado entre esses dois cenários chegou a 72,4% menor no caso do serviço *à la carte* em relação ao consumo do serviço tipo *buffet*. Esse índice foi atingido na cidade de Campos do Jordão para o cenário descrito na tabela.

**Tabela 8 - Impacto do 'tipo de serviço' no consumo do sistema de condicionamento de ar**

<b>Modelo base</b>	AVAC:	Sistema split (EER =3,24W/W)	
	Iluminação:	PBE classe A (8,4W/m <sup>2</sup> salão e 11,4W/m <sup>2</sup> cozinha)	
	Envoltória:	U <sub>par</sub> : 2,5 / U <sub>cob</sub> : 1,0	
	Absortância	α: 0,3	
	Orientação Solar:	Fachada principal a sul	
	Entorno	Adiabático	
	Turno:	Almoço e Jantar	
	<b>Serviço:</b>	<b>Parâmetro analisado</b>	
	Renovação	Cortina de ar	
<b>Cidade</b>	<b>Consumo anual de energia [kWh/m<sup>2</sup>]</b>		<b>Varição no consumo de AVAC</b>
	<b>Parâmetro analisado: Serviço</b>		
	Buffet / Bandejão	À la carte.	
Campos do Jordão	23,27	6,43	-72,4%
São Paulo	29,72	12,46	-58,1%
Porto Alegre	32,93	14,92	-54,7%
Campinas	36,42	17,95	-50,7%

Rio de Janeiro (Vila Militar)	42,40	23,29	-45,1%
Vitória	44,84	25,48	-43,2%
Recife	51,14	31,32	-38,7%
Fortaleza	50,81	30,73	-39,5%

Já em relação aos turnos de funcionamento, as simulações consideraram três cenários. O primeiro com o funcionamento para almoço e jantar, o segundo apenas com o almoço e o terceiro apenas com o jantar. Como era de se esperar, há uma diferença considerável de consumo entre o primeiro cenário e os outros dois, pelo simples fato do primeiro cenário ter mais horas de funcionamento. Portanto na Tabela 9 a comparação é feita apenas entre o cenário de almoço e o cenário de jantar, uma vez que possuem um período de funcionamento semelhante.

Entretanto, ainda sim foi identificada uma diferença considerável nestes consumos. Em Campos do Jordão, o cenário do jantar apresentou um consumo 12,7% menor que o cenário do almoço. Já para as demais cidades o cenário do jantar consumiu mais que o cenário do almoço, chegando a um consumo 11,9% maior na cidade de Recife.

**Tabela 9 - Impacto do 'turno' no consumo do sistema de condicionamento de ar**

<b>Modelo base</b>	AVAC:	Sistema split (EER =3,24W/W)	
	Iluminação:	PBE classe A (8,4W/m <sup>2</sup> salão e 11,4W/m <sup>2</sup> cozinha)	
	Envoltória:	U <sub>par</sub> : 2,5 / U <sub>cob</sub> : 1,0	
	Absortância	α: 0,3	
	Orientação Solar:	Fachada principal a sul	
	Entorno	Adiabático	
	<b>Turno:</b>	<b>Parâmetro analisado</b>	
	Serviço :	À la carte	
	Renovação	Cortina de ar	
<b>Cidade</b>	<b>Consumo anual de energia [kWh/m<sup>2</sup>]</b>		<b>Varição no consumo de AVAC</b>
	<b>Parâmetro analisado: Turno</b>		
	Almoço	Jantar	
Campos do Jordão	2,19	1,92	-12,7%
São Paulo	5,14	5,20	1,2%
Porto Alegre	6,45	6,81	5,6%
Campinas	8,24	8,77	6,5%
Rio de Janeiro (Vila Militar)	11,30	12,31	9,0%

Vitória	12,59	13,74	9,2%
Recife	16,01	17,92	11,9%
Fortaleza	15,59	17,38	11,5%

E, finalmente, as diversas tecnologias dos sistemas de condicionamento de ar com suas diferentes eficiências energéticas impactam de maneira diversa 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, consome menos energia para manter condições confortáveis de permanência prolongada no ambiente. Este parâmetro também foi selecionado como fator na equação de *benchmark*.

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

Modelo base	AVAC:		Parâmetro analisado
	Iluminação:	PBE classe A (8,4W/m <sup>2</sup> salão e 11,4W/m <sup>2</sup> cozinha)	
	Envoltória:	Upar: 2,5 / Ucob: 1,0	
	Absortância	α: 0,3	
	Orientação Solar:	Fachada principal a sul	
	Entorno	Paredes expostas	
	Turno:	Almoço e jantar	
	Serviço:	Buffet	
	Renovação	Cortina de ar	
Cidade	Consumo anual de energia [kWh/m <sup>2</sup> ]		Variação no consumo de AVAC
	Parâmetro analisado: sistema AVAC		
	Split (EER =3,24W/W)	Inverter (EER =3,55W/W)	
Campos do Jordão	20,02	18,18	-9,2%
São Paulo	27,96	24,52	-12,3%
Porto Alegre	31,61	26,27	-16,9%
Campinas	35,96	29,93	-16,8%
Rio de Janeiro (Vila Militar)	42,06	33,15	-21,2%
Vitória	45,41	35,15	-22,6%
Recife	53,29	39,18	-26,5%



## 7. EQUAÇÃO DE REGRESSÃO

Para o desenvolvimento das equações para predição do consumo de energia da tipologia de **Restaurante e preparação de alimentos**, 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 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). Também foi considerado o cenário sem condicionamento de ar. Em suma, foram construídas 3 equações para esta tipologia.

### 7.1. CIDADES COM GHR ACIMA DE 54 MIL

#### Análise das variáveis – Restaurante e preparação de alimentos

Candidate terms: TURN2, SERV, ILUM, AVAC, logGHR

	-----Step 1-----		-----Step 2-----		-----Step 3-----		-----Step 4-----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constant	58.289		12.994		-14.515		-31.992	
TURN2	7.124	0.000	7.1236	0.000	7.1236	0.000	7.1236	0.000
SERV			2.0312	0.000	2.03116	0.000	2.03116	0.000
ILUM					2.2661	0.000	2.2661	0.000
AVAC							6.991	0.000
logGHR								
S		33.8288		13.3553		11.7702		11.2398
R-sq		32.57%		89.49%		91.84%		92.56%
R-sq(adj)		32.56%		89.49%		91.84%		92.55%
R-sq(pred)		32.53%		89.48%		91.83%		92.55%
Mallows' Cp		57280.35		3096.99		864.36		180.88
	-----Step 5-----							
	Coef	P						
Constant	-204.0							
TURN2	7.1236	0.000						
SERV	2.03116	0.000						
ILUM	2.2661	0.000						
AVAC	6.991	0.000						
logGHR	35.85	0.000						
S		11.0993						
R-sq		92.75%						
R-sq(adj)		92.74%						
R-sq(pred)		92.73%						
Mallows' Cp		6.00						

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

## Análise de variância

### Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	5	10876259	92.75%	10876259	2175252	17656.95	0.000
TURN2	1	3819346	32.57%	3819346	3819346	31002.39	0.000
SERV	1	6675378	56.92%	6675378	6675378	54185.36	0.000
ILUM	1	275297	2.35%	275297	275297	2234.64	0.000
AVAC	1	84447	0.72%	84447	84447	685.47	0.000
logGHR	1	21791	0.19%	21791	21791	176.88	0.000
Error	6906	850786	7.25%	850786	123		
Lack-of-Fit	66	807870	6.89%	807870	12240	1950.89	0.000
Pure Error	6840	42916	0.37%	42916	6		
Total	6911	11727045	100.00%				

## Resumo do Modelo

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
11.0993	92.75%	92.74%	92.73%

## Equação de Regressão

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

consumo total do edifício [kWh/m<sup>2</sup>/ano] = (-204,0 + 35,85 logGHR + 6,991 AVAC + 2,2661 ILUM + 7,1236 TURN<sup>2</sup> + 2,03116 SERV)

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>)

TURN – Turno – Almoço = 1

Jantar = 2

Almoço e jantar = 3

SERV – Serviço (7,0 W/m<sup>2</sup> – *à la carte*; 37,6 W/m<sup>2</sup> – *Buffet* / bandejão; podendo ser inserida densidade de potência dentro deste intervalo em W/m<sup>2</sup>)

## 7.2. CIDADES COM GHR ABAIXO DE 54 MIL

### Análise das variáveis – Restaurante e preparação de alimentos

Candidate terms: logGHR, logGDA, SERV, ILUM, TURN2

	-----Step 1-----		-----Step 2-----		-----Step 3-----		-----Step 4-----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constant	34.980		6.258		-20.989		-67.23	
SERV	2.0122	0.000	2.01220	0.000	2.01220	0.000	2.01220	0.000
TURN2			6.1547	0.000	6.1547	0.000	6.1547	0.000
ILUM					2.2445	0.000	2.2445	0.000
logGHR							10.893	0.000
logGDA								
S	24.0407		12.8619		11.2409		10.4201	
R-sq	62.12%		89.16%		91.72%		92.89%	
R-sq(adj)	62.12%		89.16%		91.72%		92.88%	
R-sq(pred)	62.11%		89.15%		91.72%		92.88%	
Mallows' Cp	50781.12		6315.87		2105.54		190.46	
	-----Step 5-----							
	Coef	P						
Constant	-40.28							
SERV	2.01220	0.000						
TURN2	6.1547	0.000						
ILUM	2.2445	0.000						
logGHR	5.980	0.000						
logGDA	-2.907	0.000						
S	10.3372							
R-sq	93.00%							
R-sq(adj)	93.00%							
R-sq(pred)	92.99%							
Mallows' Cp	6.00							

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

#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	5	16345371	3269074	30592.97	0.000
logGHR	1	19968	19968	186.87	0.000
logGDA	1	19925	19925	186.46	0.000
SERV	1	10918838	10918838	102181.75	0.000
ILUM	1	450117	450117	4212.33	0.000
TURN2	1	4751638	4751638	44467.25	0.000
Error	11514	1230352	107		
Lack-of-Fit	54	1167892	21628	3968.19	0.000
Pure Error	11460	62460	5		
Total	11519	17575723			

#### Resumo do Modelo

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

## Equação de Regressão

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

$$\text{consumo total do edifício [kWh/m}^2\text{/ano]} = (-40,28 + 5,980 \log\text{GHR} - 2,907 \log\text{GDA} + 2,2445 \text{ILUM} + 6,1547 \text{TURN}^2 + 2,01220 \text{SERV})$$

Onde:

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

GDA – Graus-dia de aquecimento da cidade onde se localiza a edificação

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

TURN – Turno – Almoço = 1

Jantar = 2

Almoço e jantar = 3

SERV – Serviço (7,0 W/m<sup>2</sup> – à la carte; 37,6 W/m<sup>2</sup> – Buffet / bandejão; podendo ser inserida densidade de potência dentro deste intervalo em W/m<sup>2</sup>)

### 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 18 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 93,11%, logo a equação de *benchmark* tem boa representatividade do modelo para a tipologia de **Restaurante e Preparação de Alimentos**.

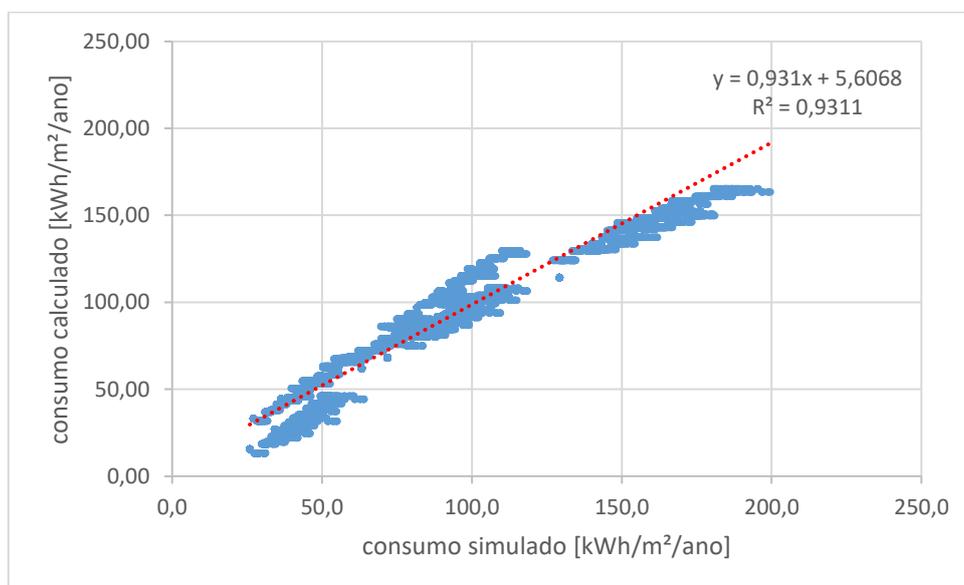


Figura 18 – Comparação entre o EUI simulado e o predito pela equação

## 7.4. CENÁRIO SEM AR CONDICIONADO

### Análise das variáveis – Restaurante e preparação de alimentos

Candidate terms: SERV, TURN, ILUM

	-----Step 1-----		-----Step 2-----		-----Step 3-----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constant	26.785		-7.993		-32.912	
SERV	1.7145	0.000	1.7145	0.000	1.7145	0.000
TURN			17.389	0.000	17.389	0.000
ILUM					2.0527	0.000
S		17.8415		10.8000		9.16258
R-sq		68.39%		88.42%		91.67%
R-sq(adj)		68.38%		88.41%		91.66%
R-sq(pred)		68.34%		88.40%		91.65%
Mallows' Cp		8572.34		1197.88		4.00

$\alpha$  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	3	2833547	944516	11250.54	0.000
SERV	1	2113874	2113874	25179.28	0.000
TURN	1	619275	619275	7376.46	0.000
ILUM	1	100397	100397	1195.88	0.000
Error	3068	257568	84		
Lack-of-Fit	8	257568	32196	*	*
Pure Error	3060	0	0		
Total	3071	3091115			

### Resumo do Modelo

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
9.16258	91.67%	91.66%	91.65%

### Equação de Regressão

#### EQUAÇÃO FINAL PARA CENÁRIO SEM AR CONDICIONADO

consumo total do edifício [kWh/m<sup>2</sup>/ano] = (-32,912 + 2,0527 ILUM + 17,389 TURN + 1,7145 SERV)

Onde:

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

TURN – Turno – Almoço = 1

Jantar = 2

Almoço e jantar = 3

SERV – Serviço (7,0 W/m<sup>2</sup> – *à la carte*; 37,6 W/m<sup>2</sup> – *Buffet* / bandejão; podendo ser inserida densidade de potência dentro deste intervalo em W/m<sup>2</sup>)

## 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 Restaurante e Preparação de Alimentos**

Parâmetro	Cenário	Parâmetros significativos de acordo com a cidade e presença de ar condicionado		
		Tipologia com ar condicionado	GHR< 54mil	GHR≥ 54mil
Cidade				-
Iluminação	DPI (W/m <sup>2</sup> )	x	x	x
AVAC	Split	-	x	-
	Split Inverter			
Turnos	1- almoço			
	2- jantar	x	x	x
	3- almoço e jantar			
Serviço	À la carte = 7,0	x	x	x
	Buffet/bandejão = 37,6			

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 **Erro! Autoreferência de indicador não válida.** e a Tabela 13 apresentam 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 tipologia de Restaurante e Preparação de Alimentos para cidades com GHR<54 mil**

	Parâmetros	Limite Mínimo	Limite Máximo
Cidade	GHR		Parâmetro fixo
	GDA		
Iluminação	W/m <sup>2</sup>	8,4	13,9
Turnos	1- almoço		
	2- jantar		Parâmetro fixo
	3- almoço e jantar		
Serviço	À la carte		Parâmetro fixo
	Buffet/bandejão		

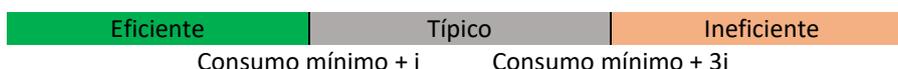
**Tabela 13 – Cenários para o cálculo de consumo mínimo e máximo para tipologia de Restaurante e Preparação de Alimentos para cidades com GHR>54 mil**

Parâmetros		Limite Mínimo	Limite Máximo
Cidade	GHR	Parâmetro fixo	
	GDA		
Iluminação	W/m <sup>2</sup>	8,4	13,9
Turnos	1- almoço	Parâmetro fixo	
	2- jantar		
	3- almoço e jantar		
AVAC		Inverter	Split
Serviço	À la carte	Parâmetro fixo	
	Buffet/bandejão		

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 Restaurante com sistema de condicionamento de ar, localizado na cidade de São Paulo, com GHR = 14.172, GDA = 288, DPI de 18,60 W/m<sup>2</sup>, funcionando apenas para almoço, com serviço do tipo buffet/bandejão. **O consumo previsto foi de 101 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 14.

**Tabela 14 – Exemplo de Escala de Eficiência – Restaurante em São Paulo.**

Previsão de consumo de energia		Mínimo	Máximo
VARIÁVEIS	ILUMINAÇÃO	DPI (W/m <sup>2</sup> )	
		8,4	13,9
FIXOS	SÃO PAULO	GHR=14172 GDA=288	
	TURNO	1-almoço	
	SERVIÇO	Buffet/bandejão	
		<b>Consumo geral: 78,1 [kWh/m<sup>2</sup>/ano]</b>	<b>Consumo geral: 90,4 [kWh/m<sup>2</sup>/ano]</b>

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

$$i = \frac{90,4 - 78,1}{5} = 2,47$$



Considera-se nesse exemplo, portanto, que a edificação analisada apresenta consumo operacional superior ao consumo máximo da faixa típica (**101 > 85,5 kWh/m²/ano**), sendo classificada como ineficiente.

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 arquetipo, modelo de simulação, análise de sensibilidade e equações de *benchmark* para a tipologia de **Restaurante e Preparação de Alimentos**.

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); tipo de serviço (SERV) e turnos de funcionamento (TURN).

As variações de orientação solar, entorno, envoltória, absorvância e renovação de ar (tipo de porta) na edificação não apresentaram impacto significativo no consumo final e, portanto, não foram incluídas na equação de *benchmark* proposta para a 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, têm impacto no consumo do ar condicionado, uma vez que parte da energia consumida pelas lâmpadas é dissipada na forma de calor. Logo, quanto maior a densidade de potência de iluminação instalada, maior será o consumo para resfriamento. 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 desligado como em um Split tradicional. O tipo de serviço, *buffet*/bandeirão ou *à la carte* determina a densidade de potência de equipamentos e a densidade de ocupação presentes no salão. Já os turnos de funcionamento têm um impacto devido às horas de funcionamento do sistema de ar condicionado, equipamentos e iluminação.

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.

Com a previsão do consumo de energia em relação ao consumo simulado, verificou-se que as equações têm um R<sup>2</sup> acima de 93,11%, logo os modelos regressivos empregados foram representativos para prever o consumo de energia para a tipologia de **Restaurante e Preparação de Alimentos**.

A Tabela 15 resume os parâmetros estudados e identifica aqueles consideradas significativos para o desenvolvimento das equações de *benchmark* para esta tipologia.

**Tabela 15 – Parâmetros analisadas e sua relevância para a equação de benchmark da tipologia de Restaurante e Preparação de Alimentos**

Parâmetros analisados	Parâmetros na equação para GHR < 54 mil	Parâmetros na equação para GHR > 54 mil	Parâmetros na equação para cenário sem AC
Clima GHR	✓	✓	
Clima GDA	✓		
AVAC		✓	
Iluminação	✓	✓	✓
Entorno			
Envoltória			
Absortância			
Orientação Solar			
Serviço	✓	✓	✓
Turno	✓	✓	✓
Renovação (tipo de porta)			

## 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.