

KÁCIA HENDERSON BARBOSA

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ORIENTAÇÃO SOLAR,
ASSOCIADA AO COMPORTAMENTO DO USUÁRIO, NO
DESEMPENHO TÉRMICO DE UMA TIPOLOGIA DE
RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR EM GOIÂNIA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Enedir Ghisi, PhD

Florianópolis
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Barbosa, Kácia Henderson

Avaliação da influência da orientação solar, associada ao comportamento do usuário, no desempenho térmico de uma tipologia de residência unifamiliar em Goiânia / Kácia Henderson Barbosa ; orientador, Enedir Ghisi - Florianópolis, SC, 2017.

225 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Desempenho térmico. 3. Orientação solar. 4. Comportamento do usuário. 5. Residência unifamiliar. I. Ghisi, Enedir. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Kácia Henderson Barbosa

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ORIENTAÇÃO SOLAR,
ASSOCIADA AO COMPORTAMENTO DO USUÁRIO, NO
DESEMPENHO TÉRMICO DE UMA TIPOLOGIA DE
RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR EM GOIÂNIA**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre em Engenharia Civil”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Florianópolis, 21 de fevereiro de 2017.

Glicério Trichês
Coordenador do PPGE

Banca examinadora:

Prof. Eneir Ghisi, PhD.
Orientador – UFSC

Prof. Roberto Lamberts, PhD. - UFSC

Prof. Deivis Luis Marinoski, Dr. - UFSC

Prof^a. Juliana Oliveira Batista, Dr^a. - UFAL
(Videoconferência)

AGRADECIMENTOS

A Deus pela saúde e pela força.

Aos meus pais pela oportunidade, dedicação, confiança, incentivo e por acreditar nas minhas escolhas.

À minha irmã Bruna pelos consideráveis conselhos e correções.

Ao Paulo Vitor pela paciência, contribuições e por me ajudar a não enlouquecer com a minha indecisão, exigência e inconstância.

Aos meus amigos que me acompanham e contribuem com preciosas reflexões.

Aos novos amigos que o mestrado proporcionou: Laís, Mateus, Matheus, Natália, Mônica e Raquel, que me ajudaram com bons incentivos, conhecimento e muitas alegrias.

Aos pesquisadores Aline e Arthur e ao professor Prudêncio, que estiveram disponíveis a me auxiliar nos procedimentos estatísticos utilizados neste trabalho.

À Vanessa por me auxiliar na escolha e definição do modelo de ar-condicionado utilizado nas simulações.

Ao professor Enedir pela orientação e paciência.

Aos membros da banca pelas contribuições.

Ao Ilton e Maria que cederam sua moradia para realizar o monitoramento da mesma.

Aos moradores do Condomínio Privê dos Girassóis que contribuíram para a realização deste trabalho, ao responder os formulários.

Ao CNPQ por financiar meus estudos.

RESUMO

O modo como a edificação é projetada influencia no desempenho térmico e no consumo energético ao longo de toda sua vida útil. Atualmente existem vários estudos que avaliam as tomadas de decisões na elaboração do projeto arquitetônico. Contudo, existem poucas pesquisas que avaliam a influência da orientação solar e do comportamento do usuário no desempenho térmico, principalmente para a cidade de Goiânia, zona bioclimática 6. O objetivo deste trabalho é avaliar, através de simulação computacional, a influência da orientação solar, associada ao comportamento do usuário, no desempenho térmico de uma tipologia de residência unifamiliar em Goiânia. O método foi dividido em cinco etapas: monitoramento, calibração, determinação dos padrões de uso a serem simulados, simulação e análise dos dados simulados. Com o monitoramento de uma edificação real foi possível calibrar o modelo de simulação. Para obter os padrões de uso que foram simulados, aplicaram-se 66 formulários a respeito do modo que os usuários ocupam o ambiente, operam portas e janelas, utilizam os equipamentos elétricos, utilizam a iluminação e o ar-condicionado. A fim de reduzir o número de padrões de uso simulados, foi feita a análise de *cluster*, uma análise estatística que permite agrupar os objetos com características similares e eleger um único objeto para representar todo o grupo. Com o modelo calibrado e os padrões de uso definidos, foi possível realizar as simulações a partir das combinações entre os padrões de uso e as oito orientações principais: 0°N, 45°NE, 90°L, 135°SE, 180°S, 225°SO, 270°O e 315°NO. Por meio das simulações, obtiveram-se a temperatura operativa, temperatura do ar e umidade relativa do ar, que permitiram realizar a análise de desempenho térmico, feita a partir dos conceitos de graus-médio, horas de desconforto e carta bioclimática. Verificou-se que as orientações norte e sul são as de melhor desempenho térmico e que o comportamento do usuário influencia no desempenho térmico. A diferença de horas de desconforto ao modificar a orientação foi de até 700 horas, ao considerar as horas anuais, e de 208 horas, ao considerar as horas ocupadas. As duas salas foram os ambientes que obtiveram melhor desempenho térmico devido à baixa carga térmica, à presença de elementos de sombreamento, dentre outras variáveis. Dessa forma, notou-se que a orientação e o

comportamento do usuário influenciam no desempenho térmico; sendo que o comportamento do usuário é capaz de aumentar ou diminuir a influência da orientação no desempenho térmico.

Palavras-chave: desempenho térmico, orientação solar, comportamento do usuário, residência unifamiliar, simulação computacional, análise de *cluster*, monitoramento, Goiânia.

ABSTRACT

The way a building is designed influences the thermal performance and energy consumption of the building over its lifetime. Currently there are several studies that evaluate the decision making in the design of the architecture project. However, there is little research that evaluates the influence of solar orientation and user behavior on thermal performance, especially for the city of Goiânia, located in bioclimatic zone 6. The objective of this work is to evaluate, through computational simulation, the influence of the solar orientation, associated to the user behavior, on the thermal performance of a typology of single family house in Goiânia. The method was divided in five steps: monitoring, calibration, determination of the patterns of use that will be simulated, simulation and analysis of data. By monitoring a real building it was possible to calibrate the simulation model. For the usage patterns that were simulated, questionnaires were applied in 66 houses regarding the way users occupy the environment, operate doors and windows, use electrical equipment, use lighting and air-conditioning. In order to reduce the number of usage patterns, a cluster analysis was performed, i.e., a statistical analysis that allows grouping objects with similar characteristics and choosing a single object to represent the whole group. Using the calibrated model and defined usage patterns, it was possible to carry out the simulations for the combinations of usage patterns and the eight main orientations: 0°N, 45°NE, 90°E, 135°SE, 180°S, 225°SW, 270°W and 315°NW. By means of computer simulations, the operating temperature, air temperature and relative air humidity were obtained. This allowed to perform the analysis of thermal performance, which was made from the concepts of degree-hours, hours of discomfort and bioclimatic chart. It was verified that the north and south orientations are the ones with the best thermal performance and that the user's behavior influences the thermal performance of the house. The difference in hours of discomfort when modifying orientation was up to 700 hours considering the annual hours, and 208 hours considering the hours the house is occupied. The two rooms were the environments that obtained better thermal performance due to the low thermal load, the presence of shading elements, among other variables. Thus, it was noticed that the orientation and the behavior of the user influence the thermal performance of a house; the behavior of the user is

able to increase or decrease the influence of the orientation on the thermal performance.

Keywords: Thermal performance, solar orientation, user behavior, single-family residence, computer simulation, cluster analysis, monitoring, Goiânia.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Carta bioclimática para o Brasil e suas nove zonas de estratégia bioclimática.	52
Figura 2 – Fluxograma do método.	61
Figura 3 - Zoneamento bioclimático brasileiro conforme NBR15220, com ênfase na zona em que Goiânia está inserida.	63
Figura 4 – Localização do condomínio e da residência.	64
Figura 5 – Exemplo da composição das edificações do condomínio.	65
Figura 6 - Fachada frontal da residência monitorada.	65
Figura 7 - Planta baixa da edificação monitorada. Com ênfase nos ambientes que foram analisados.	67
Figura 8 - Instrumento utilizado para medir temperatura. HOBO <i>TEMP-RH</i> da <i>Onset</i> ®.	68
Figura 9 - Planta baixa do pavimento superior com localização dos equipamentos.	69
Figura 10 - Equipamentos internos e externos.	70
Figura 11 - Planta baixa dos pavimentos térreo e superior, respectivamente com a locação das zonas térmicas.	72
Figura 12 - Perspectivas volumétricas.	72
Figura 13 – Perspectiva volumétrica com nova geometria da cobertura.	77
Figura 14 – Planta baixa do pavimento térreo com o entorno.	78
Figura 15 - Espectrômetro Alta II.	79
Figura 16 - Combinações dos padrões encontrados.	85
Figura 17 – Combinações das variáveis simuladas.	88
Figura 18 – Método para análise dos dados.	90
Figura 19 – Método comparativo para definir qual orientação apresentou melhor desempenho térmico.	91
Figura 20 – Método comparativo para definir qual ambiente apresentou melhor desempenho térmico.	91
Figura 21 – Correlação entre temperaturas monitorada e simulada nos quartos 1 e 2.	96
Figura 22 – Dendograma para identificar dados atípicos.	101
Figura 23 – Dendograma com o agrupamento dos dados.	105
Figura 24 – Quarto 2 com padrão de uso 1.	109
Figura 25 – Sala 1 com padrão de uso 1.	111
Figura 26 – Carta bioclimática de Goiânia com os dados obtidos no arquivo climático, que foram registrados pelo INMET entre 2001 e 2010.	114
Figura 27 - Horas de desconforto e graus-médio por calor do quarto 2.	116

Figura 28 - Horas de desconforto e graus-médio por frio do quarto 2.	116
Figura 29 - Porcentagem de desconforto pela carta bioclimática do quarto 2.	117
Figura 30 - Consumo energético anual do ar-condicionado no quarto 2.	118
Figura 31 – Carta bioclimática do quarto 2 com o padrão de uso 1.	118
Figura 32 – Cartas bioclimáticas do quarto 2 com orientação 0°N.	119
Figura 33 – Quarto 1 com padrão de uso 1.	156
Figura 34 - Quarto 1 com padrão de uso 2.	157
Figura 35 – Quarto 2 com padrão de uso 1.	158
Figura 36 - Quarto 2 com padrão de uso 2.	159
Figura 37 - Quarto 2 com padrão de uso 3.	160
Figura 38 - Quarto 3 com padrão de uso 1.	161
Figura 39 - Quarto 3 com padrão de uso 2.	162
Figura 40 – Sala 1 com padrão de uso 1.	163
Figura 41 - Sala 1 com padrão de uso 2.	164
Figura 42 - Sala 2 com padrão de uso 1.	165
Figura 43 - Sala 2 com padrão de uso 2.	166
Figura 44 - Sala 2 com padrão de uso 3.	167
Figura 45 - Cozinha com padrão de uso 1.	168
Figura 46 - Cozinha com padrão de uso 2.	169
Figura 47 - Cozinha com padrão de uso 3.	170
Figura 48 - Cozinha com padrão de uso 4.	171
Figura 49 – Horas de desconforto e graus-médio por calor do quarto 1.	178
Figura 50 – Porcentagem de desconforto pela carta bioclimática do quarto 1.	178
Figura 51 - Horas de desconforto e graus-médio por calor do quarto 2.	179
Figura 52 - Porcentagem de desconforto pela carta bioclimática do quarto 2.	179
Figura 53 - Horas de desconforto e graus-médio por calor do quarto 3.	180
Figura 54 - Porcentagem de desconforto pela carta bioclimática do quarto 3.	180
Figura 55 - Horas de desconforto e graus-médio por calor da sala 1.	181
Figura 56 - Porcentagem de desconforto pela carta bioclimática da sala 1.	181
Figura 57 - Horas de desconforto e graus-médio por calor da sala 2.	182

Figura 58 - Porcentagem de desconforto pela carta bioclimática da sala 2.	182
Figura 59 – Horas de desconforto e graus-médio por calor na cozinha.	183
Figura 60 – Porcentagem de desconforto pela carta bioclimática da cozinha.	183
Figura 61 - Carta bioclimática do quarto 1 com padrão de uso 1. .	184
Figura 62 - Carta bioclimática do quarto 1 com padrão de uso 2. .	185
Figura 63 – Carta bioclimática do quarto 2 com padrão de uso 1. .	186
Figura 64 - Carta bioclimática do quarto 2 com padrão de uso 2. .	187
Figura 65 - Carta bioclimática do quarto 2 com padrão de uso 3. .	188
Figura 66 - Carta bioclimática do quarto 3 com padrão de uso 1. .	189
Figura 67 - Carta bioclimática do quarto 3 com padrão de uso 2. .	190
Figura 68 - Carta bioclimática da sala 1 com padrão de uso 1.	191
Figura 69 - Carta bioclimática da sala 1 com padrão de uso 2.	192
Figura 70 - Carta bioclimática da sala 2 com padrão de uso 1.	193
Figura 71 - Carta bioclimática da sala 2 com padrão de uso 2.	194
Figura 72 - Carta bioclimática da sala 2 com padrão de uso 3.	195
Figura 73 - Carta bioclimática da cozinha com padrão de uso 1. ...	196
Figura 74 - Carta bioclimática da cozinha com padrão de uso 2. ...	197
Figura 75 - Carta bioclimática da cozinha com padrão de uso 3. ...	198
Figura 76 - Carta bioclimática da cozinha com padrão de uso 4. ...	199
Figura 77 - Horas de desconforto e graus-médio por calor no quarto 1, considerando as horas ocupadas.	206
Figura 78 - - Porcentagem de desconforto pela carta bioclimática do quarto 1.	206
Figura 79 - Porcentagens de desconforto do quarto 2, considerando as horas ocupadas.	207
Figura 80 - - Porcentagem de desconforto pela carta bioclimática do quarto 2.	207
Figura 81 - Horas de desconforto e graus-médio por calor no quarto 3, considerando as horas ocupadas.	208
Figura 82 - Porcentagem de desconforto pela carta bioclimática do quarto 3.	208
Figura 83 - Horas de desconforto e graus-médio por calor na sala 1, considerando as horas ocupadas.	209
Figura 84 - Porcentagem de desconforto pela carta bioclimática da sala 1.	209
Figura 85 - Horas de desconforto e graus-médio por calor na sala 2, considerando as horas ocupadas.	210
Figura 86 -- Porcentagem de desconforto pela carta bioclimática da sala 2.	210

Figura 87 - Horas de desconforto e graus-médio por calor na cozinha, considerando as horas ocupadas.....	211
Figura 88 – Porcentagem de desconforto pela carta bioclimática da cozinha.....	211
Figura 89 - Carta bioclimática do quarto 1 com padrão de uso 1. .	212
Figura 90 - Carta bioclimática do quarto 2 com padrão de uso 1. .	213
Figura 91 - Carta bioclimática do quarto 2 com padrão de uso 2. .	214
Figura 92 - Carta bioclimática do quarto 2 com padrão de uso 3. .	215
Figura 93 - Carta bioclimática do quarto 3 com padrão de uso 1. .	216
Figura 94 - Carta bioclimática do quarto 3 com padrão de uso 2. .	217
Figura 95 - Carta bioclimática da sala 1 com padrão de uso 1.	218
Figura 96 - Carta bioclimática da sala 1 com padrão de uso 2.	219
Figura 97 - Carta bioclimática da sala 2 com padrão de uso 2.	220
Figura 98 - Carta bioclimática da sala 2 com padrão de uso 3.	221
Figura 99 - Carta bioclimática da cozinha com padrão de uso 1. .	222
Figura 100 - Carta bioclimática da cozinha com padrão de uso 2. .	223
Figura 101 - Carta bioclimática da cozinha com padrão de uso 3. .	224
Figura 102 - Carta bioclimática da cozinha com padrão de uso 4. .	225

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Radiação solar média incidente diária por metro quadrado em superfícies verticais no Rio de Janeiro.....	26
Tabela 2 - Valores aceitos para determinar o nível de desempenho.....	57
Tabela 3 - Critérios de avaliação de desempenho térmico de edificações.....	58
Tabela 4 - Materiais utilizados na composição da envoltória da residência.....	66
Tabela 5 - Parâmetros utilizados para simulação no <i>EnergyPlus</i>	71
Tabela 6 - Propriedades físicas dos materiais.....	74
Tabela 7 - Padrão de uso adotado referente à edificação a ser calibrada.....	75
Tabela 8 – Valores modificados de resistência térmica.....	79
Tabela 9 - Modelo de como foram inseridos os valores no programa.....	84
Tabela 10 – Propriedades dos materiais do modelo de referência	86
Tabela 11 – Parâmetros adotados na modelagem do sistema de ar-condicionado.....	87
Tabela 12 – Valores de metabolismo adotados.....	87
Tabela 13 - Valores de absorvância solar após a medição com equipamento Alta II.....	94
Tabela 14 – Valores para comparação dos dados e verificação se a alteração é adotada nas simulações posteriores.....	95
Tabela 15 – Análise de D^2 de <i>Mahalanobis</i> para identificação dos dados atípicos do quarto 1.....	100
Tabela 16 – Análise para confirmar se os dados são atípicos.....	102
Tabela 17 – Seleção do padrão de referência de cada grupo.....	108
Tabela 18 – Porcentagens de conforto e desconforto térmicos e estratégias bioclimáticas para Goiânia com os dados obtidos no arquivo climático, que foram registrados pelo INMET entre 2001 e 2010.....	114
Tabela 19 - Orientação com melhor desempenho térmico, considerando horas anuais.....	123
Tabela 20 - Ambiente com melhor desempenho térmico, considerando horas anuais.....	125
Tabela 21 - Orientação com melhor desempenho térmico, considerando horas ocupadas.....	132

Tabela 22 - Ambiente com melhor desempenho térmico, considerando horas ocupadas.....	133
Tabela 23 - Aferição dos equipamentos para coleta dos valores de temperatura.....	151
Tabela 24 - Aferição dos equipamentos para coleta dos valores de umidade.....	152
Tabela 25 – Formulário para definir o padrão de uso dos ambientes monitorados.....	153
Tabela 26 – Formulário para definir padrão de uso dos equipamentos elétricos e da iluminação.....	154
Tabela 27 – Formulário para levantamento dos equipamentos elétricos.....	154
Tabela 28 - Porcentagens de desconforto do Quarto 1.....	172
Tabela 29 - Porcentagens de desconforto do Quarto 2.....	173
Tabela 30 - Porcentagens de desconforto do Quarto 3.....	174
Tabela 31 - Porcentagens de desconforto do Sala 1.....	175
Tabela 32 - Porcentagens de desconforto do Sala 2.....	176
Tabela 33 - Porcentagens de desconforto da Cozinha.....	177
Tabela 34 - Porcentagens de desconforto do quarto 1, considerando as horas ocupadas.....	200
Tabela 35 - Porcentagens de desconforto do quarto 2, considerando as horas ocupadas.....	201
Tabela 36 - Porcentagens de desconforto do quarto 3, considerando as horas ocupadas.....	202
Tabela 37 - Porcentagens de desconforto da sala 1, considerando as horas ocupadas.....	203
Tabela 38 - Porcentagens de desconforto da sala 2, considerando as horas ocupadas.....	204
Tabela 39 - Porcentagens de desconforto da cozinha, considerando as horas ocupadas.....	205

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	OBJETIVOS	21
1.1.1	Objetivo geral	21
1.1.2	Objetivos específicos	21
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	22
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	25
2.1	INFLUÊNCIA DA ORIENTAÇÃO SOLAR NO DESEMPENHO TÉRMICO.....	25
2.2	COMPORTAMENTO DO USUÁRIO.....	32
2.3	MONITORAMENTO DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS.....	37
2.4	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	40
2.5	MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES.....	46
2.5.1	Distribuição de temperatura	47
2.5.2	Graus-hora	49
2.5.3	Carta Bioclimática	51
2.5.4	Avaliação pelas normas brasileira de desempenho	55
2.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
3	MÉTODO	61
3.1	MONITORAMENTO DA EDIFICAÇÃO.....	62
3.1.1	A cidade	62
3.1.2	Estudo de caso	63
3.1.3	Medições das variáveis climáticas in loco	67
3.1.3.1	Especificação dos equipamentos utilizados.....	68
3.1.3.2	Aferição dos equipamentos	68
3.1.3.3	Instalação dos equipamentos.....	69
3.1.3.4	Período de medição.....	70
3.1.3.5	Procedimento de coleta dos dados	70
3.2	CALIBRAÇÃO	70
3.2.1	Caso base	71
3.2.2	Ajustes no caso base para determinar o modelo de referência	75
3.2.2.1	Geometria da cobertura.....	76
3.2.2.2	Entorno	77
3.2.2.3	Infiltração de ar	78
3.2.2.4	Propriedades térmicas dos materiais	78
3.3	DETERMINAÇÃO DOS PADRÕES DE USO SIMULADOS.....	80

3.4	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	85
3.5	ANÁLISE DOS DADOS SIMULADOS	88
3.5.1	Graus-médio e horas de desconforto	89
3.5.2	Carta Bioclimática.....	92
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	93
4.1	CALIBRAÇÃO DO MODELO A SER UTILIZADO NA SIMULAÇÃO	93
4.2	DETERMINAÇÃO DOS PADRÕES DE USO.....	99
4.3	ANÁLISE DOS DADOS E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO, CONSIDERANDO AS HORAS ANUAIS	112
4.3.1	Análise dos dados simulados.....	114
4.3.2	Orientação e ambiente com melhor desempenho térmico	122
4.3.3	Síntese de resultados.....	125
4.4	ANÁLISE DOS DADOS E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO, CONSIDERANDO AS HORAS OCUPADAS	128
4.4.1	Análise dos dados simulados.....	128
4.4.2	Orientação e ambiente com melhor desempenho térmico	132
4.4.3	Síntese dos resultados.....	134
5	CONCLUSÃO.....	137
5.1	LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	140
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	141
	REFERÊNCIAS.....	142
	APÊNDICE A – AFERIÇÃO DO EQUIPAMENTO HOBO.....	151
	APÊNDICE B – FORMULÁRIO PADRÃO DE USO.....	153
	APÊNDICE C – PADRÕES DE USO ADOTADOS NA SIMULAÇÃO FINAL	155
	APÊNDICE D – VALORES DE CONFORTO E DESCONFORTO, CONSIDERANDO AS HORAS ANUAIS	172
	APÊNDICE E – CARTA BIOCLIMÁTICA DOS DADOS SIMULADOS, CONSIDERANDO AS HORAS ANUAIS.....	184
	APÊNDICE F – VALORES DE CONFORTO E DESCONFORTO, CONSIDERANDO AS HORAS OCUPADAS.....	200
	APÊNDICE G – CARTA BIOCLIMÁTICA DOS DADOS SIMULADOS, CONSIDERANDO AS HORAS OCUPADAS...	212

1 INTRODUÇÃO

A humanidade conseguiu alcançar um grande progresso, que só foi possível devido ao surgimento da indústria no final do século XVIII e seu sucessivo aperfeiçoamento tecnológico ao longo dos anos. Entretanto, o desenvolvimento tecnológico resultou na intensa utilização dos recursos naturais do planeta, tornando-os cada vez mais escassos. Diante disso, surgiu uma preocupação dos pesquisadores em relação ao que essas ações poderiam causar no futuro, prevendo a necessidade de tomar atitudes para evitar o esgotamento dos bens vitais. Paralelamente surge o termo ‘desenvolvimento sustentável’, que visa satisfazer às necessidades atuais sem afetar as necessidades das gerações futuras (WCED, 1987). Nesse contexto, nasce o conceito de projeto sustentável, que são edifícios projetados para garantir uma longa vida útil e que prezam por eficiência energética, conforto, usos flexíveis, dentre outros conceitos fundamentais para constituir um projeto sustentável.

Existem diversas formas para uma edificação tornar-se eficiente energeticamente. O desempenho térmico da edificação é uma das formas, uma vez que as decisões de projeto em relação à escolha dos materiais da envoltória e a implantação da edificação, por exemplo, influenciam no maior ou menor gasto de energia para o resfriamento ou aquecimento dos ambientes. Ressalta-se que uma das premissas dos projetos sustentáveis é eliminar ou reduzir o uso de ar-condicionado, que consome grande quantidade de energia elétrica. O’Brien (2013) considera que os projetistas podem ajudar a reduzir o consumo de energia ao projetar uma edificação mais adequada termicamente. Nesse sentido, para Bekkouche *et al.* (2013) o desempenho térmico da edificação pode contribuir significativamente para a redução do consumo de energia elétrica no edifício.

Segundo Orme (2001), aproximadamente 67,9% do consumo total de energia de edifícios residenciais, em países frios, está relacionado com os sistemas de aquecimento, refrigeração e ventilação. Tommerup, Rose e Svendsen (2007), ao avaliarem cinco residências unifamiliares na Dinamarca, verificaram que 20 a 30% do consumo total de energia é destinado aos sistemas de aquecimento, resfriamento e ventilação. Para Ghisi, Gosch e Lamberts (2007), em média, o ar-condicionado e a iluminação

correspondem a 21% do consumo total de energia em residências unifamiliares brasileiras. Nesse contexto, a característica de uma edificação tem influência no consumo energético, podendo ser responsável por 42% do consumo total em uma edificação (SANTIN; ITARD; VISSCHER, 2009; KAVOUSIAN; RAJAGOPAL; FISCHER, 2013). Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2015, o setor residencial é responsável por 25,1% do consumo final de energia elétrica no Brasil, que apresentou crescimento de 1,8% em relação ao ano anterior (BRASIL, 2016). Nota-se que a porcentagem de consumo de energia por sistemas de refrigeração e iluminação, que são consumos que dependem do clima e das características da edificação, são significativos e, por isso, o consumo de energia elétrica de edificações ainda é um tema que precisa ser discutido.

Nesse contexto, para Corbella e Yannas (2003) há poucas edificações nas regiões tropicais capazes de garantir um ambiente confortável termicamente sem a utilização de sistemas de refrigeração ou aquecimento. Segundo os autores, a deficiência de edificações confortáveis se dá em virtude do padrão globalizado das cidades, que buscam ostentar o poder econômico com a adoção do excesso de tecnologia e áreas envidraçadas nas edificações, desconsiderando a questão ambiental. Para Campanhoni e Romero (2010) o ganho de calor devido à absorção da radiação solar pelas superfícies externas das edificações é a principal causa de desconforto térmico em um país de clima tropical. Considerando que a incidência de radiação solar varia conforme a localização e orientação da edificação, o estudo dessas variáveis é necessário para garantir resultados satisfatórios no desempenho térmico da edificação. Ressalta-se que as decisões tomadas na concepção do projeto arquitetônico exercem impactos no desempenho térmico da edificação durante toda a vida útil.

As habitações de interesse social planejadas pelos programas do governo possuem grande problemática em sua construção. Os programas governamentais se preocupam mais com a quantidade do que com a qualidade e, assim, não se atentam aos aspectos bioclimáticos, de conforto, habitabilidade e desempenho térmico das moradias. Nesse mesmo contexto, cada vez mais os construtores procuram intensificar o lucro e diminuir o tempo de execução. Por isso, têm-se construído residências com

mesma tipologia arquitetônica e material construtivo independente das particularidades do local climático e sem a realização de um estudo de implantação para adotar estratégias bioclimáticas adequadas.

Nos últimos anos, surgiram os condomínios horizontais fechados destinados à classe alta. A fim de atender a classe média, criaram-se condomínios com habitações de mesma tipologia arquitetônica e materiais construtivos que são reproduzidas de forma desordenada, sem levar em consideração as condições do entorno. Percebe-se que a problemática não ocorre apenas na construção de habitações de baixa renda promovida pelo governo. O problema está vinculado a todos os âmbitos da construção civil em virtude da desatualização do construtor ou falta de rigor no cumprimento das normas de desempenho e técnicas construtivas. Por conseguinte, atualmente o Brasil enfrenta problemas com os projetos arquitetônicos inadequados, desconfortáveis termicamente e pouco eficientes energeticamente.

Para Mascaró e Mascaró (1992), em geral, os erros de projeto ocorrem principalmente na inadequação da composição da envoltória, orientação, disposição dos ambientes e altura da edificação. Batista (2006) afirma que cuidados como a proteção contra radiação solar, orientação das superfícies externas e o emprego de iluminação natural são medidas que ajudam a minimizar o fluxo térmico e, conseqüentemente, tornam o ambiente interno mais agradável. Ou seja, atentando a esses parâmetros, é possível obter edificações de mesma tipologia arquitetônica, mas com melhores condições térmicas internas. Corbella e Castanheira (2001) destacam a necessidade de controle da radiação solar incidente nas paredes e aberturas das fachadas. Este controle da radiação solar é obtido através da adoção correta da orientação, do dimensionamento das fachadas, da vegetação, da disposição dos elementos de proteção, dentre outros parâmetros. Ressalta-se que, para optar pelo controle adequado, deve-se conhecer a radiação incidente em cada plano externo da edificação.

Diante de tantas opções que visam a melhoria do desempenho térmico da edificação, uma estratégia de planejamento arquitetônico se destaca por não adicionar custo à obra, que é a adequação em relação à orientação da edificação.

A escolha de orientar a casa corretamente, em relação ao posicionamento das fachadas e aberturas, melhora a condição térmica interna sem adicionar custos diretos à obra. O mesmo não acontece com as estratégias de proteção solar, materiais da envoltória, dentre outros que possuem custo embutido. É evidente que apenas a orientação correta não é capaz de tornar uma edificação eficiente energeticamente, mas é o primeiro passo a ser feito ao planejar uma edificação. A quantidade de radiação solar que incide na superfície de uma edificação varia conforme a orientação e a época do ano e, por isso, o estudo da orientação é relevante no desempenho térmico. Sabe-se que, para regiões tropicais, o ideal é que os ambientes de permanência prolongada absorvam pouca carga térmica e, para isso, esses ambientes precisam estar expostos ao menor número de horas à radiação solar.

Vários estudos têm avaliado a influência da orientação solar no desempenho térmico das edificações (MASCARÓ; MASCARÓ, 1992; LOUREIRO, 2003; AMORIM; BRAGA, 2004; MATOS, 2007; WESTPHAL, 2007; MARQUES, 2008; SORGATO, 2009; CAMPANHONI; ROMERO, 2010; LIANG; LIN; HWANG, 2012; BEKKOUCHE *et al.*, 2013; ALMEIDA, 2014; ABANDA; BYERS, 2016). Assim, buscam comprovar que o posicionamento do edifício aumenta ou reduz a absorção da radiação solar pelas superfícies externas, acarretando em maior ou menor desconforto térmico do usuário e maior ou menor consumo de energia elétrica.

Campanhoni e Romero (2010) consideram necessário o estudo das orientações mais favoráveis para adotar soluções adequadas, a fim de obter uma edificação agradável termicamente. Para Liang, Lin e Hwang (2012) a orientação da edificação pode exercer maior influência no desempenho térmico do que alguns sistemas de proteção solar. Abanda e Byers (2016) consideram que a orientação solar de um edifício determina em grande parte o ganho solar interno e, por isso, pode reduzir a necessidade de sistemas artificiais de resfriamento ou aquecimento. Bekkouche *et al.* (2013) afirmam que o princípio da arquitetura bioclimática deve primeiramente adequar a edificação quanto a orientação e localização e, depois, solucionar efetivamente os problemas de calor ou frio. Os autores consideram que, quando a edificação é orientada corretamente,

pode maximizar as oportunidades de aquecimento solar passivo ou evitar o ganho de calor solar.

Entretanto, não são somente as características de uma edificação que influenciam no desempenho, visto que o comportamento do usuário interfere na carga térmica interna do edifício e pode afetar significativamente no consumo de energia (SANTIN; ITARD; VISSCHER, 2009). Nesse sentido, para Janda (2009), o comportamento do usuário é desconsiderado pelos projetistas por se tratar de um parâmetro que não depende da construção, mas do modo como o edifício é utilizado. Alguns estudos têm enfatizado que o comportamento do usuário influencia no desempenho térmico e energético das edificações e, por isso, deve ser considerado nas análises de desempenho, uma vez que desconsiderar o comportamento do usuário é analisar uma edificação irreal (MAIER *et al.*, 2009; PEREIRA *et al.*, 2013; BONTE; THELLIER; LARTIGUE, 2014). Portanto, edificações com as mesmas características arquitetônicas, mas que se diferem quanto à orientação solar e ao comportamento do usuário, podem gerar desempenhos térmicos diferentes.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar, por meio de simulação computacional, a influência da orientação solar, considerando diferentes padrões de uso, no desempenho térmico de uma tipologia de residência unifamiliar, localizada na cidade de Goiânia (GO).

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Calibrar o modelo que foi utilizado na simulação computacional a partir dos valores de temperatura do ar obtidos no monitoramento de uma edificação real;
- Determinar padrões de ocupação, de uso de equipamentos e de operação de portas e janelas, através da aplicação de formulários e análise de *cluster*;

- Identificar a orientação, associada às variações dos padrões de uso, com melhor desempenho térmico.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos. O primeiro é destinado à introdução, a qual discute a problemática, importância e motivação do tema, bem como os objetivos propostos.

O segundo capítulo apresenta a revisão de literatura dos trabalhos e experiências que se têm a respeito da influência da orientação no desempenho térmico, monitoramento de residências, calibração, comportamento do usuário, simulação e os métodos para análise de desempenho térmico de edificações no Brasil. Trata-se de um capítulo essencial, pois serve de base para a elaboração do método do ensaio, permitindo a adoção de procedimentos adequados para a avaliação do desempenho térmico das edificações.

O terceiro capítulo refere-se ao método adotado no trabalho. Este é capaz de elucidar os passos estabelecidos para a realização da pesquisa. Esta etapa apresenta o objeto de estudo, equipamentos adotados para realização das medições, dados de entrada do modelo de referência da simulação, aplicação dos formulários, parâmetros utilizados para calibração, simulação e as ferramentas para a realização das análises e avaliação do desempenho térmico das edificações.

O quarto capítulo corresponde aos resultados obtidos a partir do método adotado. Inicialmente, apresentam-se os resultados da análise de *cluster*, que definiu os padrões de uso adotados nas simulações. Em seguida, apresenta-se o procedimento de calibração do modelo de referência para realizar as simulações, que levam em consideração a variação da orientação da edificação e do padrão de uso. Por fim, são apresentadas as análises dos dados simulados com o objetivo de avaliar qual orientação, submetida às variações dos padrões de uso, obtém melhor desempenho térmico.

O último capítulo corresponde à conclusão do trabalho, bem como as sugestões para trabalhos futuros e as limitações da pesquisa.

No final deste trabalho constam sete apêndices. O primeiro refere-se à aferição dos equipamentos utilizados para medir temperatura e umidade relativa do ar da edificação monitorada. O segundo corresponde a um formulário aplicado aos moradores das edificações residenciais para obter os padrões de ocupação, uso dos equipamentos elétricos, uso da iluminação e operação de portas e janelas dos ambientes analisados. O terceiro é referente aos padrões de uso que foram adotados na simulação final e que foram determinados após a análise de *cluster*. O quarto corresponde aos valores de conforto e desconforto obtidos nas simulações ao analisar as horas anuais. O quinto corresponde às cartas bioclimáticas de cada etapa simulada, considerando as horas anuais. O sexto corresponde aos valores de conforto e desconforto obtidos nas simulações, considerando as horas ocupadas. Por fim, o sétimo apêndice corresponde às cartas bioclimáticas obtidas ao analisar as horas ocupadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta uma revisão de literatura dos principais conceitos que norteiam o trabalho. Inicialmente, traz a relevância da orientação solar no desempenho térmico e os estudos realizados com esse tema específico. Posteriormente, apresentam-se questões a respeito da influência do comportamento do usuário, os procedimentos para medição *in loco* e procedimentos para realização da simulação computacional de edificações.

Por fim, expõem-se conceitos utilizados na literatura para avaliação do desempenho térmico de edificações. Destacam-se as pesquisas que utilizam os conceitos com o objetivo de verificar as qualidades e limitações de cada um.

2.1 INFLUÊNCIA DA ORIENTAÇÃO SOLAR NO DESEMPENHO TÉRMICO

Considerando que o conforto térmico do usuário exerce uma grande influência no consumo energético da edificação, torna-se necessário estudar o desempenho térmico das edificações. O desempenho térmico visa melhorar as condições do ambiente para o usuário e, ao mesmo tempo, proporcionar menor consumo de energia elétrica.

De acordo com Corbella e Yannas (2003), o ganho de calor devido à absorção solar é uma das principais causas de desconforto térmico nos climas tropicais. O ganho se dá em virtude da deficiência de estratégias bioclimáticas na concepção dos projetos de arquitetura que visam atenuar o efeito da radiação solar nas edificações. Existem alguns procedimentos que controlam os ganhos de calor advindos do sol, quais sejam: reduzir a energia solar recebida pelas aberturas; reduzir a energia solar absorvida por paredes externas; e utilizar isolantes térmicos. Nesse sentido, a correta orientação da edificação é capaz de reduzir o ganho de calor pelas aberturas e paredes. Portanto, quando o objetivo é reduzir o ganho de calor devido à absorção solar, o primeiro passo a ser definido durante a concepção do projeto arquitetônico é orientar a edificação adequadamente para que os ambientes de permanência prolongada absorvam pouca carga térmica.

Corbella e Yannas (2003) apresentam valores referentes à média da radiação incidente diária por metro quadrado nas fachadas durante duas épocas do ano, os valores estão indicados na Tabela 1. Os dados mostram que, no inverno, a fachada orientada para o norte necessita de maior proteção solar. Por sua vez, no verão, a situação se inverte e a fachada norte passa a ter menor necessidade de proteção solar quando comparada com as outras orientações; mas, ainda assim, possui valores de radiação significativos. Ressalta-se que, quando combinados os valores de radiação solar com a alta temperatura externa, há um aumento do desconforto térmico, tornando necessária a utilização de mecanismos de controle solar.

Tabela 1 - Radiação solar média incidente diária por metro quadrado em superfícies verticais no Rio de Janeiro

Fachada	Inverno	Verão
Norte	3,8 kWh/m ² dia	2,0 kWh/m ² dia
Leste / Oeste	2,4 kWh/m ² dia	3,4 kWh/m ² dia
Sul	1,0 kWh/m ² dia	2,4 kWh/m ² dia

Fonte: Corbella e Yannas (2003).

Considerando que a trajetória solar muda de acordo com a localização geográfica e a época do ano, uma vez que variam a altura solar e o azimute, o posicionamento ideal de uma edificação em relação à orientação solar é relativo. Nos trópicos, as orientações leste e oeste recebem maior energia solar e, por isso, as paredes externas voltadas para essas orientações devem conter áreas menores que as fachadas voltadas para norte e sul (CORBELLA; YANNAS, 2003).

Segundo Siqueira *et al.* (2005), a localização das janelas, a área envidraçada e o tipo do sistema de fechamento das janelas em uma edificação exercem muita influência na temperatura do ambiente interno. Muitos construtores optam por aplicar uma proteção solar após compreenderem que o posicionamento da edificação é inadequado. Entretanto, nem sempre a proteção solar traz um resultado satisfatório. A utilização de brises fixos, por exemplo, é projetada para eliminar a entrada de radiação solar no ambiente em um determinado período do dia. Ou seja, em determinados horários a parede externa continuará recebendo radiação solar e, assim, o brise não é tão eficiente contra o ganho

de carga térmica no ambiente, ainda que seja considerado um recurso útil para controle térmico.

Nesse contexto, a proteção contra a radiação solar é indispensável para todas as orientações, mas o controle por si só não isenta a adoção correta da orientação da edificação e a adequação da área das aberturas e das paredes externas expostas. Quando a concepção do projeto é planejada conforme a localização geográfica e a trajetória solar, a edificação pode trazer resultados mais eficientes e um resultado plástico e formal mais interessante. Se durante o processo criativo da concepção de projeto forem utilizados métodos para verificar o desempenho térmico, é possível gerar uma nova proposta que ajuste as problemáticas ainda em fase de projeto. Quando somadas às estratégias de orientação e proteção solar, os benefícios são ainda mais significativos para a melhoria do desempenho térmico das edificações.

Atualmente existem estudos que analisam o desempenho térmico das edificações, o que demonstra a relevância do assunto, o qual busca melhorar a qualidade térmica dos ambientes. A maioria das pesquisas aborda a influência da envoltória no desempenho térmico, mas algumas avaliam especificamente a influência da orientação solar no desempenho, e são estas que serão discutidas nesta seção.

No Brasil, em um estudo desenvolvido por Mascaró e Mascaró (1992), foram calculados valores de radiação solar recebida por edifícios de dez pavimentos, de oito capitais brasileiras, que possuem volumetrias com proporções que variavam de 4:1 até 1:4. Foi possível identificar as piores e melhores orientações da edificação em relação à quantidade de radiação solar recebida. Como resultado, para todas as cidades analisadas as fachadas com as maiores dimensões orientadas para norte e sul recebem menor radiação solar. Consequentemente, o desempenho térmico da edificação é mais adequado quando as fachadas maiores estão dispostas para norte e sul. Em um segundo estudo, os autores variaram a orientação das fachadas da edificação, que possuem proporção constante de 4:1. A análise foi feita para o dia 22 de dezembro e as angulações variaram em: 0°N, 22°30'NE, 45°NE, 67°30'NE e 90°L. A melhor orientação da edificação correspondeu a 22°30'NE para seis das oito cidades estudadas, uma vez que para São Paulo e Belo

Horizonte o sol estava praticamente no zênite e, por isso, a mudança na orientação surtiu pouco efeito.

Os resultados alcançados por Mascaró e Mascaró (1992) destacam que as estratégias de projeto adotadas quanto à volumetria e orientação da edificação devem ser definidas conforme a latitude que a edificação se encontra. De modo geral, a orientação norte e sul são as mais adequadas para as oito cidades brasileiras analisadas: Porto Alegre, São Paulo, Belo Horizonte, Brasília, Salvador, Recife, Fortaleza e Belém. Ressalta-se que Mascaró e Mascaró (1992) analisaram edificações verticais que possuem uma grande área de fachada exposta, o que potencializa as diferenças de radiação solar encontradas.

O estudo desenvolvido por Amorim e Braga (2004) sobre o conforto térmico em edifícios residenciais localizados em Brasília analisa a influência da orientação solar e da insolação nas fachadas das edificações. Os autores criticam a falta de adequação das edificações conforme o clima, pois, em Brasília, cidade que possui clima tropical, são construídos inúmeros edifícios sem critérios de orientação solar e com fachadas envidraçadas sem proteção solar.

Os autores analisaram a insolação nas edificações sobrepondo as projeções dos edifícios na Carta Solar, que é capaz de indicar dias e horários durante todo o ano que a fachada recebe sol. Nesse processo, identificaram que todos os edifícios analisados necessitam de proteção solar nas fachadas principais. Após a realização do monitoramento das edificações, Amorim e Braga (2004) realizaram simulações com os programas “Luz do sol”, que mostra a entrada da iluminação solar direta nos ambientes, e “Arquitrop”¹, que mostra o comportamento das temperaturas e das cargas térmicas internas. Para comparar o comportamento das temperaturas, os autores optaram por simular quando há proteção solar e quando não existe proteção solar. A proteção foi aplicada de duas maneiras, primeiramente utilizando o vidro de média reflexão e, posteriormente, o vidro de alta reflexão.

Os resultados mostraram que a aplicação de vidro de média reflexão reduz a carga térmica quando comparado à

¹ Luz do Sol e *Arquitrop* são programas computacionais que foram desenvolvidos pelo professor Maurício Roriz da Universidade Federal de São Carlos.

edificação ausente de proteção, porém não é suficiente para tornar o ambiente confortável termicamente. O vidro de alta reflexão arranhou resultados satisfatórios para a situação estudada. Nesse sentido, conclui-se que a utilização de vidros com alto desempenho é uma solução aceitável de proteção solar, tendo em vista que melhora o desempenho térmico de edificações concebidas sem alterar a estética arquitetônica. Porém, o uso dos vidros refletivos causa desconforto no entorno urbano, uma vez que provoca ofuscamento nos pedestres e transmite calor para o entorno imediato. O estudo demonstrou-se satisfatório para aplicação em edificações concebidas e que possuem problemas com o ganho de carga térmica solar. Entretanto, não isenta de implantar a edificação conforme a orientação solar, uma vez que as tecnologias utilizadas pelos autores acarretam em maior custo na construção.

Campanhoni e Romero (2010) analisaram a influência da orientação solar de edifícios localizados na cidade de Águas Claras – DF. Para os autores, o estudo da orientação é extremamente relevante, uma vez que o comportamento da incidência da radiação é variável em cada orientação. Este estudo analisa três grupos de usos diferentes, quais sejam: residencial, misto e centro urbano, com duas tipologias de edificações cada. O objetivo é avaliar a incidência direta nas fachadas e a média do acúmulo diário de radiação solar no período de verão e de inverno. A análise da incidência solar é feita em dois horários, às 10 horas e às 15 horas durante o solstício de verão e de inverno. A avaliação da radiação solar direta foi simulada no programa *Ecotec Analysis* e trouxe valores em *Watts* por hora.

Campanhoni e Romero (2010) concluíram que existe uma relação significativa entre as escolhas de projeto quanto à orientação e ao desempenho da edificação, considerando importante o estudo das orientações para otimizar o projeto arquitetônico. Os autores ressaltam que o edifício depende de escolhas adequadas desde o início de projeto para alcançar resultados satisfatórios no desempenho térmico da edificação. Os resultados revelam que a implantação da edificação em forma de “H” trouxe valores de radiação solar direta inferiores aos da implantação em “I”. Uma vez que a própria superfície edificada proporciona sombreamento nas fachadas, que funciona como controlador solar. A configuração que foi disposta em dois blocos

implantados em “I” foi a mais satisfatória, pois uma edificação faz sombra em uma área de fachada maior do que a disposição em “H”. Ressalta-se que a implantação disposta em dois blocos próximos pode trazer benefícios para reduzir a carga térmica, mas pode limitar a iluminação natural, tornando a edificação pouco eficiente energeticamente.

Em Taiwan, Liang, Lin e Hwang (2012) analisaram a relação entre a percepção térmica dos ocupantes e o desempenho térmico de uma edificação. Os autores monitoraram quatro salas localizadas no primeiro andar, retangulares e com duas paredes com aberturas voltadas à área externa da edificação. As salas se diferenciam na orientação geográfica, sendo duas posicionadas no eixo norte-sul e duas no eixo leste-oeste, e no tipo de sistema de proteção à radiação solar. Como resultado, a sala posicionada no eixo leste-oeste com corredor a oeste é a que alcançou maior ganho solar médio pela janela, em seguida têm-se: a sala posicionada no eixo leste-oeste com corredor a oeste e uma varanda de 2,3 metros de profundidade a leste; a sala posicionada no eixo norte-sul com um corredor ao sul; e, por último, a sala posicionada no eixo norte-sul com corredor ao sul e uma varanda de 2,2 metros de profundidade ao norte. Liang, Lin e Hwang (2012) consideram que, para diminuir o ganho solar médio, há duas soluções: proteção solar nas janelas e a orientação das salas. Nesse contexto, os resultados indicaram que a sala voltada ao eixo leste-oeste e com proteção solar alcançou maior ganho solar que a sala voltada ao eixo norte-sul e sem proteção solar. Portanto, para esse caso, a mudança da orientação da sala possui maior potencial para melhorar a condição térmica do ambiente do que as estratégias de proteção do solar nas janelas.

Semelhante a Campanhoni e Romero (2010), Bekkouche *et al.* (2013) verificaram a influência da orientação da edificação na temperatura interna em um clima de Sahara especificamente na região de Ghardaia, Argélia. Para a análise, os autores simularam uma residência térrea com e sem isolamento térmico nas paredes externas. Frisa-se que a região estudada possui um clima com temperaturas extremas, com verão e inverno bem rigorosos. Os autores concluíram que a orientação da edificação com isolamento térmico não exerce influência significativa no conforto térmico e na temperatura interna de um edifício isolado. Quando não há isolamento na envoltória, há maior influência da

orientação da edificação. Os resultados mostram que, em virtude do superaquecimento no verão, a orientação solar não é suficiente para tornar uma edificação confortável termicamente; mas, ainda assim, exerce influência na temperatura do ambiente. Os autores afirmam que aspectos relacionados à geometria, orientação e espaçamento da edificação devem ser considerados em um projeto arquitetônico, a fim de minimizar os efeitos da radiação solar.

Recentemente, Abanda e Byers (2016) investigaram o impacto da orientação de uma residência, localizada em Oxford, no consumo energético. Para a análise do consumo de energia foi utilizado o programa *Green Building Studio*. Para a avaliação os autores simularam uma edificação em onze orientações diferentes, que correspondem a 0°N, +45°NE, +90°L, +135°SE, +180°S, -135°SO, -90°O, -45°NO, 150°SE, 165°SE e 157°5'SSE. Ressalta-se que a orientação 157°5'SE representa a orientação real da edificação. Os resultados indicaram que o impacto da orientação do edifício no consumo de energia anual não é tão significativo. Entretanto, o impacto é considerável no consumo de energia ao longo do ciclo de vida da edificação. Para um ciclo de vida de trinta anos, a diferença entre a melhor e pior orientação, que correspondem respectivamente a +180°S e +45°NE, gerou uma economia de 878 libras esterlinas na conta de energia. Após a análise entre a orientação e o consumo energético, ficou claro para Abanda e Byers (2016) o nível de impacto que a orientação do edifício tem no consumo de energia. Portanto, conclui-se que uma edificação bem orientada pode reduzir consideravelmente o consumo de energia elétrica ao longo do ciclo de vida.

A partir desta revisão referente aos estudos da influência da orientação solar no desempenho térmico de edificações, é possível evidenciar a importância em estudar e analisar esse parâmetro, com o propósito de otimizar as edificações quanto ao desempenho térmico. Pode-se dizer que as pesquisas apresentaram diferentes métodos de avaliação e objetivos. No entanto, todos mostraram as diferenças de carga térmica nas fachadas posicionadas para diversas orientações solares. Destaca-se os poucos estudos que avaliam a influência da orientação solar em residências unifamiliares, o que confirma a lacuna das pesquisas em relação à essa tipologia de edificação.

Mascaró e Mascaró (1992) mostraram que há diferenças de radiação solar conforme a orientação e dimensões da edificação, reafirmando a necessidade de estratégias de projeto em relação à volumetria e orientação da edificação a fim de reduzir a carga térmica. Amorim e Braga (2004) concluíram que utilizar tecnologias para reduzir a carga térmica pode ser satisfatório, porém o ideal é adotar a orientação da edificação correta e estratégias adequadas durante a concepção do projeto arquitetônico. Campanhoni e Romero (2010) constataram que a implantação e a orientação da edificação influenciam na carga térmica interna. Liang, Lin e Hwang (2012) mostraram que a orientação solar pode ter maior influência na melhoria das condições térmicas do ambiente do que os sistemas de proteção contra a radiação solar das aberturas. Bekkouche *et al.* (2013) verificaram que a orientação associada a outros parâmetros, como geometria e o espaçamento da edificação, são importantes para reduzir os efeitos da radiação solar. Abanda e Byers (2016) concluíram que uma edificação bem orientada pode gerar uma economia significativa ao longo do ciclo de vida da edificação.

De modo geral, as pesquisas apresentaram uma avaliação dos valores de radiação solar, que as paredes absorvem em diferentes volumetrias, orientações, localização e épocas do ano. Os estudos mostram que a análise da orientação solar deve fazer parte da concepção do projeto. Nesse sentido, a utilização de proteções solares e vidros de alto desempenho são um complemento de projeto que não devem ser empregados de modo a invalidar a análise do entorno e insolação. Ressalta-se que os estudos analisados não obtiveram valores reais comparativos entre edificações de mesma arquitetura, composição da envoltória e comportamento do usuário.

2.2 COMPORTAMENTO DO USUÁRIO

O desempenho térmico de uma edificação sofre influência de vários fatores, tais como: topografia, umidade relativa do ar, temperatura, materiais construtivos da envoltória, dimensões dos ambientes, pé direito, orientação das fachadas e tipo das esquadrias. Observa-se que todos os fatores citados dependem da localização e das decisões de projeto tomadas pelo arquiteto. Segundo Janda (2009), as pesquisas costumam estudar a

influência das características construtivas no desempenho térmico e esquecem que o comportamento do usuário também exerce influência, pois o comportamento do usuário interfere na carga térmica interna. Nesse contexto, a redução do consumo de energia não depende apenas do desenho da edificação, mas da maneira como a edificação é utilizada e construída (JANDA, 2009). Por isso, é necessário que os construtores e arquitetos informem aos usuários que as suas ações alteram o desempenho térmico da edificação e, conseqüentemente, provocam o maior ou menor consumo de energia.

O comportamento do usuário é subdividido em padrão de ocupação, padrão de uso dos equipamentos elétricos, padrão de uso da iluminação e controle das aberturas. O padrão de ocupação corresponde ao número de pessoas e o período em que elas permanecem dentro do ambiente. Necessita-se da definição da atividade exercida para estabelecer a taxa metabólica e, assim, obter a potência de calor dissipado no ambiente. Para definir o padrão de uso de equipamentos elétricos e de iluminação, faz-se necessário estabelecer os horários em que cada equipamento é ligado e a potência dissipada dos mesmos. O controle das aberturas corresponde aos horários em que há abertura e fechamento das portas e janelas. Considerando que a ventilação natural é um dos fatores responsáveis por resfriar ou aquecer o ambiente, o controle das aberturas exerce considerável influência no desempenho térmico da edificação. Conforme a NBR 15.220 (ABNT, 2005), para a zona bioclimática 6, a ventilação seletiva noturna é uma estratégia que traz melhorias para a edificação quando há abertura das portas e janelas no período noturno e o fechamento no período diurno. Isso ocorre porque a temperatura externa na madrugada é baixa, permitindo resfriar o ambiente. Nesse cenário, o comportamento inverso de abertura das janelas e portas pode transferir maior carga interna, levando a diminuir o desempenho da edificação para a localidade citada.

Ressalta-se que equipamentos elétricos dissipam calor quando ligados, os seres vivos trocam calor com o ambiente e a abertura das janelas aumenta ou diminui as trocas de calor. Portanto, a influência do padrão de uso da edificação e o comportamento do usuário exerce influência no desempenho térmico de uma edificação. Por isso, torna-se necessário avaliar esse parâmetro como um fator de impacto no consumo energético.

Nessa perspectiva, comparar diretamente edifícios com arquitetura semelhante, mas com diferentes padrões de uso, pode gerar resultados divergentes, como mostra o trabalho de Pereira *et al.* (2013). Os autores simularam uma residência unifamiliar ocupada por quatro pessoas, sendo duas em cada quarto que ocupam o ambiente somente no período da noite para dormir e abrem as janelas entre 7 e 21 horas. Os autores também simularam para a sala que tinha ocupação das 8 às 12 horas nos dias úteis e das 9 às 23 horas nos finais de semana, com aberturas de janelas entre 8 e 18 horas. Para verificar a influência da ventilação no modelo foram simuladas duas situações: com a presença de ventilação natural e sem ventilação natural, ambas com ocupação do usuário no ambiente.

Os resultados indicaram que ambientes ocupados e com ventilação natural possuem temperatura interna equivalente à temperatura externa, pois a ventilação permite trocas de calor com o exterior. Na situação sem ventilação e com ocupação, a temperatura interna é maior que a externa, visto que não é possível trocar o calor com o exterior e, assim, a carga térmica da ocupação se mantém no ambiente, ocasionando o aumento da temperatura interna. Após realizar a simulação em um modelo de edificação multifamiliar, os resultados foram similares à edificação unifamiliar, porém com a diferença de temperatura ainda mais significativa. A diferença de temperatura entre as duas tipologias de edificação se deu, pois a velocidade do ar e as trocas de ar são maiores na edificação multifamiliar, o que aumenta as trocas térmicas.

O trabalho desenvolvido por Maier, Krzaczek e Tejchman (2009) apresentou resultados experimentais a respeito do efeito da ventilação em residências de baixo consumo energético. Foram monitoradas vinte e duas residências idênticas, localizadas na Alemanha, com quatro diferentes sistemas de ventilação: natural, aquecimento, mecânico com ventiladores individuais e mecânico para recuperar calor. Para avaliação dos dados obtidos, os autores analisaram a umidade relativa do ar, concentração de gás carbônico no ar, temperatura do ar, o consumo de eletricidade, gás, calor, tempo em que a janela ficou aberta, o tempo que a ventilação mecânica foi utilizada e o número de ocupantes. Para a avaliação final dos resultados, questionaram os moradores a respeito da sensação térmica.

Os resultados apresentaram diferenças significativas entre as edificações com sistemas de ventilação distintos, no qual cada sistema era melhor que o outro, dependendo do parâmetro analisado. A avaliação de edificações de mesma tipologia arquitetônica permitiu entender o resultado discrepante. A discrepância ocorreu devido ao comportamento do usuário que possui ações incorretas para melhorar o conforto térmico. Exemplo desta ação é o caso descrito pelos autores, no qual os moradores com sistema de aquecimento de ar, quando insatisfeitos com a temperatura, optam por abrir as janelas em vez de modificar o sistema para diminuir o aquecimento. Essa ação promove maior consumo de energia, uma vez que a abertura das janelas causa o resfriamento do ambiente e para esquentá-lo é necessário ligar o aquecedor, que consumirá mais energia para atingir a temperatura ideal.

Meester *et al.* (2012) estudaram, por meio de simulação computacional, o impacto do comportamento dos usuários no consumo de energia destinado ao aquecimento de uma residência localizada na Bélgica. Os autores avaliaram: o número de ocupantes, o tamanho da residência, os horários de ocupação dos ambientes e quatro modos de uso do aquecedor, totalizando onze casos que foram associados a sete tipos de isolamento da residência. Os resultados mostraram que o comportamento do usuário é uma estratégia que ajuda a reduzir o consumo de energia destinado ao aquecimento de uma residência. Entretanto, dentre os parâmetros avaliados, o isolamento da residência foi o que apresentou maior potencial de redução no consumo energético. Os autores identificaram que o impacto da ocupação no consumo energético depende do nível de isolamento, ou seja, a ocupação exerce maior impacto na redução do consumo energético em uma edificação com bom nível de isolamento do que em um caso com baixo nível de isolamento.

Bonte, Thellier e Lartigue (2014) estudaram especificamente o impacto que as ações do usuário exercem no desempenho energético das edificações e na sensação térmica. O estudo avalia seis tipos de ações: utilização de persianas, sistema de iluminação, janelas, ventilador, termostato e ajustes de vestuário. Foram investigados oito tipos de edifícios classificados em três critérios e dois níveis de uso cada, sendo um ótimo e o outro péssimo: ar-condicionado, inércia térmica e clima. Para isso,

utilizaram uma sala de escritório convencional de vinte metros quadrados com janela orientada a sul; e o programa TRNSYS 17 para simular as diferentes ações do ocupante e verificar a influência no desempenho e sensação térmica. Os resultados mostraram que há uma diferença significativa entre os comportamentos extremos dos ocupantes, ótimo e péssimo; embora, exista uma pequena probabilidade de combinação das ações extremas.

Os resultados obtidos identificaram que há uma relação entre o comportamento do usuário e o consumo de energia elétrica. Por isso, as pesquisas que não levam em consideração as ações dos ocupantes tendem a subestimar a demanda de energia da construção. Nesse sentido, segundo Bonte, Thellier e Lartigue (2014), as ações do ocupante têm impacto significativo sobre a demanda de energia.

Sorgato (2015) avaliou, por meio de simulação, a influência do comportamento do usuário em quatro tipologias de edificações residenciais, considerando três estilos de vida e três comportamentos, associados às propriedades dos materiais da envoltória. Os resultados apresentaram diferentes consumos de energia, sendo que o comportamento do usuário gera maior impacto no consumo energético das edificações multifamiliares, quando comparadas com edificações unifamiliares. Para edificações unifamiliares, as propriedades dos materiais da envoltória são mais significativas no consumo de energia do que o comportamento do usuário. Portanto, o comportamento do usuário influencia no desempenho termoenergético das edificações residenciais. Entretanto, a influência pode ser mais significativa em uma situação do que em outra.

Esta revisão de literatura confirma a influência do comportamento do usuário no desempenho térmico de edificações. Sabe-se que a ventilação natural exerce influência na temperatura interna da edificação, porém, utilizando a ventilação natural não significa que o ambiente será confortável, pois o número de usuários, o horário da abertura das janelas e os equipamentos elétricos podem influenciar na temperatura. Isto é, pode-se adotar um ótimo padrão de aberturas de janelas, mas o padrão de uso de equipamentos elétricos e de usuários pode tornar o ambiente desconfortável termicamente. Nesse sentido, o comportamento do usuário para obter um desempenho térmico

satisfatório deve atender todos os parâmetros que influenciam na carga térmica interna de uma edificação.

Pelo trabalho de Maier, Krzaczek e Tejchman (2009) percebe-se que o desempenho térmico não depende somente das características construtivas de uma edificação. O comportamento do usuário reflete na sensação térmica e no consumo de energia elétrica. No trabalho de Pereira *et al.* (2013), percebe-se a influência da ventilação natural na temperatura interna de uma edificação. Nesse sentido, comprova-se que as atitudes do usuário exercem influência na temperatura de um ambiente, uma vez que o usuário é o responsável em controlar a abertura da janela. Meester *et al.* (2012) mostraram que o comportamento do usuário ajuda a reduzir o consumo de energia destinado ao aquecimento de uma residência. Os resultados do trabalho desenvolvido por Bonte, Thellier e Lartigue (2014) mostraram que diferentes comportamentos do usuário trazem consumo de energia elétrica e desempenho térmico diferentes, mesmo se tratando de edificações semelhantes. Além disso, não se pode descartar o padrão de uso nas simulações. Desconsiderando o padrão de uso, pode-se simular um desempenho energético irreal, o que leva a diferenças consideráveis entre o valor simulado e o real. Sorgato (2015) mostrou que o comportamento do usuário influencia no desempenho termoenergético de edificações, mas o impacto no consumo de energia é diferente dependendo da tipologia de edificação analisada.

2.3 MONITORAMENTO DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS

Existem duas formas de avaliar o desempenho térmico de edificações: por monitoramento ou simulações computacionais. O monitoramento mostra-se interessante para avaliar as condições reais de desempenho térmico de uma edificação. Entretanto, não permite determinar a influência de um único fator, pois as edificações nunca estão sujeitas às mesmas condições de sombreamento, padrão de uso, arquitetura, material construtivo, posicionamento no terreno, nível topográfico, dentre outros. Por isso, é um método importante para avaliação das condições reais da edificação e, também, para validar os modelos de simulações computacionais. Muitas pesquisas têm utilizado o monitoramento

para analisar o desempenho térmico de edificações e apresentam diferentes métodos de medição.

Michaloski (2002) realizou um estudo para avaliar o desempenho térmico de habitações populares em Curitiba. Para realizar o monitoramento, utilizou o equipamento HOB0® para medir a temperatura do ar em duas épocas do ano que correspondem ao verão e ao inverno, mais precisamente entre os seguintes períodos: 09/07/2000 a 03/08/2000 e, 12/12/2000 a 10/01/2001. As medições ocorreram a cada 15 minutos e o autor não informou a localização e altura dos equipamentos nos ambientes monitorados.

O estudo realizado por Rotta (2009) analisou o desempenho térmico de edificações multifamiliares de Santa Maria, com ênfase na influência da orientação solar e da proximidade com a cobertura. Os equipamentos para monitoramento das edificações (HOB0®) foram posicionados a 1,60 metros do chão, afastados de paredes e equipamentos, mas não necessariamente localizados no centro do ambiente. O sensor externo foi colocado dentro de uma caixa de isopor envolvido por papel alumínio com pequenas aberturas para ventilação. As medições foram realizadas durante o período de verão e de inverno, entre os dias 13/02/2007 a 22/02/2007, 09/08/2007 a 22/08/2007, registradas a cada cinco minutos.

No estudo desenvolvido por Grigoletti, Rotta e Muller (2010) para avaliar o desempenho térmico de edificações multifamiliares de Santa Maria, foi utilizado o equipamento HOB0® para medir a temperatura e a umidade do ar. Os equipamentos estavam localizados a 1,90 metros do piso e fixados nas paredes ou sobre móveis; enquanto os sensores externos foram fixados sob os beirais das edificações e a 1,90 metros do chão. Nas quatro edificações monitoradas o equipamento estava próximo à parede externa da edificação, no canto da parede ou no centro da mesma. O monitoramento ocorreu entre 30 de janeiro e 8 de abril do mesmo ano.

No trabalho realizado por Pereira e Ghisi (2015) para a calibração de um modelo computacional de uma residência térrea unifamiliar em Florianópolis, a edificação foi monitorada durante sete dias, entre 24 e 30 de dezembro. O equipamento HOB0®, modelo U12, foi utilizado para medir a temperatura do ar a cada 5 minutos. Os equipamentos foram posicionados no centro de cada

ambiente e a 1,80 metros do piso. Ressalta-se que o período de monitoramento foi restrito por se tratar de uma edificação ocupada. Por isso, a casa foi monitorada apenas na semana em que as janelas e portas estavam fechadas e sem a ocupação dos usuários. Conhecendo os padrões de uso da edificação torna-se fácil a realização da calibração do modelo de referência para simulação computacional. Neste estudo o período de monitoramento foi menor que o utilizado por outros estudos (MICHALOSKI, 2002; ROTTA, 2009; GRIGOLETTI; ROTTA; MULLER, 2010), uma vez que visa a calibração de um modelo de referência de simulação computacional.

Como visto nos estudos apresentados, a maioria teve o cuidado de manter os equipamentos afastados de materiais que geram calor, como paredes externas e equipamentos elétricos; e, por isso, a maioria opta por localizá-los no centro do ambiente. A altura do equipamento é uma questão bastante variável nos estudos. Segundo a norma de desempenho (ABNT, 2013c), a altura ideal do equipamento em um ambiente de dormitório corresponde a 1,20 metros. Entretanto, para monitorar edificações ocupadas, a altura ideal incomoda os moradores e os equipamentos podem ser removidos por crianças ou animais de estimação, logo não é uma altura segura.

O período de monitoramento variou de sete dias a dois meses nos estudos analisados. Esta variação se dá principalmente em virtude da ocupação da edificação, pois uma vez que se encontra ocupada, torna-se complexa a definição do padrão de uso que influencia na temperatura interna do ar. Por isso é necessário maior período de monitoramento para uma melhor análise dos dados. O objetivo do estudo também é determinante para estabelecer o período de monitoramento. Para a calibração de um modelo computacional pode-se utilizar menor número de dados. Contudo, é importante obter maior conhecimento do funcionamento da edificação, a fim de reduzir o tempo destinado à calibração.

O monitoramento em diferentes épocas do ano torna-se relevante de acordo com o propósito do estudo, da complexidade das análises realizadas e, conseqüentemente, do tempo de estudo realizado. A utilização do equipamento HOBO® da *Onset* para o monitoramento é adotado em muitas pesquisas devido às suas

qualidades de registro, armazenamento contínuo de dados e precisão do aparelho.

Nesse contexto, observa-se a relevância do monitoramento de edificações, uma vez que obtém resultados das condições reais de funcionamento de uma edificação. Ressaltam-se os cuidados em relação à escolha do equipamento, locação e proteção contra a radiação solar. O período de monitoramento deve ser determinado conforme a análise do estudo. No caso de uma avaliação de desempenho térmico com calibração do modelo computacional, nota-se que não é necessário período longo de monitoramento, mas é importante obter menor variação do padrão de uso, dando preferência aos momentos em que as edificações não estão ocupadas.

2.4 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

A simulação computacional é outro método utilizado para avaliação do desempenho térmico. Sua vantagem é de poder determinar os dados de entrada e variar somente um parâmetro e, assim, obter uma conclusão a respeito da influência de tal parâmetro. Entretanto, a simulação possui algumas limitações, uma vez que os dados de entrada utilizados podem não ser fieis à realidade e, assim, geram resultados divergentes da situação real. Nesse sentido, para uma análise por simulação computacional o ideal é a combinação entre monitoramento e calibração de um modelo de referência. Após a calibração, o modelo simulado fica semelhante à edificação real monitorada e a simulação permite variar um único parâmetro e avaliar a influência do mesmo na edificação real.

A NBR 15.575 (ABNT, 2013) recomenda a utilização do programa *EnergyPlus*², validado pela ASHRAE *Standard* 140 (2001), para a avaliação de desempenho térmico por simulação computacional, pois determina o comportamento térmico em condições diversas de exposição ao clima e é capaz de reproduzir efeitos de inércia térmica. A maioria dos estudos utilizam o programa computacional *EnergyPlus* para calibrar o modelo de referência.

² Programa computacional desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos para estimar trocas térmicas, consumo de energia de sistemas de refrigeração, aquecimento, iluminação, ventilação, etc.

A definição dos parâmetros utilizados nos modelos computacionais pode acarretar na simplificação dos modelos e imprecisão dos resultados. Por isso, é necessário calibrar o modelo computacional a fim de obter resultados confiáveis que representem fielmente o comportamento do edifício real (PEREIRA; GHISI, 2015). Para a realização da calibração comparam-se os valores de temperatura do ar obtidos pela simulação do modelo com os valores obtidos pelo monitoramento da edificação. O modelo simulado deve sofrer variações dos dados de entrada até que o valor de temperatura obtido por monitoramento fique igual ou o mais próximo possível da temperatura de simulação.

Segundo Pedrini (1997) cada valor inserido no programa traz consigo um erro e nesse sentido há dois procedimentos de calibração, sendo um com maior nível de detalhamento possível e, o outro, com a menor demanda de tempo possível. Dessa forma, quanto maior o detalhamento da edificação, mais fiel o modelo simulado é em relação ao real, porém maior é o custo e o tempo dedicado para isso. Pedrini (1997) ressalta a utilização de planilhas para coleta de dados e de rotina de abordagem para otimizar a modelagem e, assim, evitar divergências na adoção do padrão de uso. Com a adoção de planilhas reduz-se o tempo destinado à calibração, visto que os dados de entrada da simulação estão coerentes com a edificação.

Monetti *et al.* (2015) afirmam que é necessário realizar as análises de sensibilidade e incerteza ao calibrar um modelo, a fim de verificar o grau de influência dos dados de entrada. Entretanto, os autores consideram que uma boa revisão de literatura é capaz de estabelecer os parâmetros com maior grau de incerteza. Nessa perspectiva, faz-se necessário avaliar os estudos de calibração para reduzir o tempo destinado à regulação de um modelo. Monetti *et al.* (2015) realizaram a calibração de um modelo de simulação energética baseado em otimização e adotaram o erro médio e o coeficiente de variação para a análise. Concluíram que para calibrar um modelo de residência térrea os parâmetros de maior influência no consumo energético de um edifício correspondem a: temperatura do solo, carga interna, infiltração de ar pelas aberturas, e propriedades dos materiais da envoltória.

Paliouras *et al.* (2015) calibraram uma residência localizada na Dinamarca e, para isso, utilizaram como índices

comparativos os dados medidos de temperatura operativa, umidade relativa e concentração de dióxido de carbono. Os autores adotaram o coeficiente de variação para estimar a diferença entre os dados medidos e simulados; o modelo era considerado calibrado quando a diferença era inferior a: 5% para a temperatura operativa, 20% para umidade relativa e concentração de dióxido de carbono, e 10% para o consumo de energia. Os parâmetros ajustados foram definidos conforme as análises diárias da edificação, que permitiram identificar os parâmetros com maior potencial de influência. Em vez de utilizar os dados históricos climáticos, Paliouras *et al.* (2015) optaram pelos dados meteorológicos reais obtidos em uma estação meteorológica. Os parâmetros relativos à abertura de janela, proteção solar e sistema de ventilação foram os mais influentes nas interações. Os autores destacam que o comportamento do usuário é o fator de maior incerteza e, portanto, deve ser bem conhecido e definido para reduzir o tempo de calibração.

Pedrini, Westphal e Lamberts (2002) desenvolveram uma metodologia para calibração de edifícios em climas quentes. O método se baseia em três etapas: simulação do edifício feita por documentação e sem visita ao local, auditoria e monitoramento dos usos finais de energia. O método adotado pelos autores aborda a questão energética das edificações e, por isso, traz comparações entre o consumo de energia simulado e o medido. A metodologia foi aplicada em um edifício da Eletrosul de 30.000m² de escritório e utilizou o programa *VisualDOE*. Os resultados obtidos a partir da primeira etapa foram bem diferentes do obtido pelo monitoramento, o que demonstra a importância em conhecer a edificação pessoalmente e não apenas pelos dados obtidos através de documentação. As alterações dos valores de ocupação no ambiente apresentaram resultados mais significativos na primeira etapa de calibração.

Na etapa de auditoria, ocorreu a visita de um técnico e um analista familiarizado com o funcionamento da edificação e, assim, foi verificado e monitorado os níveis de iluminação, temperatura do ar, potência ativa dos equipamentos e sistemas de iluminação artificial. Os resultados desta etapa foram utilizados para ajustar as variáveis de entrada da simulação. Isso gerou resultados significativos e com pouca diferença entre o consumo de energia simulado e o medido. A terceira e última etapa de

calibração propõe a divisão por categoria dos valores de energia consumida de acordo com o uso final de energia, determinando três grupos: iluminação, equipamentos elétricos e ar-condicionado. Com os resultados adquiridos nesta etapa foi possível ajustar a potência interna dos equipamentos e da iluminação. Segundo os autores, esta etapa não resultou em melhoria expressiva no consumo anual total de energia, entretanto, as mudanças do uso final foram significativas no consumo mensal total de energia.

Os resultados finais mostraram uma diferença máxima no consumo mensal de 19,1% na primeira etapa, 13,3% na segunda etapa e 9,2% na última etapa. Pedrini, Westphal e Lamberts (2002) consideraram a descrição dos horários de funcionamento de cada equipamento a etapa mais importante e significativa na calibração e, por isso, as medições do consumo de energia por utilização final exerce grande impacto no modelo simulado. Para Pedrini, Westphal e Lamberts (2002) é necessário um conjunto de valores ajustados para edifícios típicos e ferramentas de análises de sensibilidade incorporados no programa de simulação. Assim é possível auxiliar o usuário, que realiza a calibração, a definir os parâmetros de entrada mais importantes e assumir valores constantes para as variáveis não significativas.

Lamberts e Westphal (2005) desenvolveram um estudo de calibração em um edifício de escritório, localizado na cidade de Florianópolis, utilizando análise de sensibilidade e auditoria energética. A metodologia desenvolvida busca reduzir o tempo de calibração durante a simulação, a análise de sensibilidade é utilizada para estimar o erro nos resultados da simulação. Os pesquisadores utilizaram o programa *EnergyPlus* e o modelo foi calibrado em seis etapas: cargas de iluminação e ocupação, variação dos dias de projeto, análise de sensibilidade sobre os valores de perda e ganho de calor, ajustes de valores de entrada de alto nível de influência de incerteza, simulação anual, e ajustes finais. Por meio do estudo, que compara a demanda e a energia elétrica medida e simulada, concluíram que a janela é o componente com maior perda e ganho de calor. Ao utilizarem a análise de sensibilidade, os autores perceberam que a caracterização da janela corresponde ao parâmetro que mais influencia no consumo de energia elétrica.

Para a análise da influência da envoltória no desempenho térmico de uma residência ocupada, Pereira e Ghisi (2011) optaram por calibrar um modelo para realizar a análise a partir da simulação. Com um período de monitoramento de três dias, o modelo de referência para calibração foi definido com as mesmas características da casa monitorada. Os ganhos internos de calor foram incluídos de acordo com as atividades realizadas durante os dias de monitoramento. Os autores variaram os parâmetros de entrada que consideram principais no programa, que são: temperatura do solo, geometria do telhado, resistência térmica dos componentes da envoltória, absorção de energia solar de superfícies externas, ganhos internos de calor por equipamentos, infiltração de ar, coeficiente de descarga e expoente da velocidade do vento. O resultado da calibração mostrou temperaturas simuladas próximas às monitoradas, com uma diferença menor que 1°C.

Na calibração de um modelo computacional de uma residência unifamiliar, a mesma estudada por Pereira e Ghisi (2011), Pereira e Ghisi (2015) analisaram os mesmos seis parâmetros que funcionam como dado de entrada do *EnergyPlus*: temperatura do solo, geometria da edificação, resistência térmica dos materiais, absorvância térmica dos materiais, ganhos internos de calor por equipamentos e infiltração de ar. Para a análise do parâmetro que mais influencia na calibração, cada parâmetro foi analisado separadamente: temperatura do solo, geometria da edificação, resistência térmica dos materiais do envelope, absorvância dos materiais do envelope, ganhos internos de calor por equipamentos e infiltração de ar.

Em vez de adotar a temperatura do solo informada pelo arquivo climático, Pereira e Ghisi (2015) mediram a temperatura do solo no mês estudado e simularam. No estudo o parâmetro que mais influenciou na correlação entre os dados foi a temperatura do solo, que trouxe variações significativas na temperatura interna do ar. Na geometria da edificação alteraram a representação da cobertura, a qual na primeira etapa foi simulada sem inclinação e admitindo uma resistência térmica da câmara de ar. Na etapa da calibração consideraram a cobertura como uma zona térmica e com a inclinação do telhado. Assim, os autores conseguiram verificar a influência da simplificação da geometria, a qual alcançou uma leve melhoria nos valores de temperatura interna do

ar. A variação em 15% para mais e para menos do valor da propriedade de resistência térmica alteraram na amplitude térmica, mas com mudanças na temperatura inferiores a $0,1^{\circ}\text{C}$.

O aumento de 0,1 no valor de absorvância solar devido a sujeiras resultou na elevação de até 1°C na temperatura. A alteração dos ganhos internos de calor se dá devido a presença de computador e geladeira, que são equipamentos com ventiladores e, por isso, não possuem a fração radiante e fração convectiva uniformes, como em outros aparelhos. Nesse caso, a alteração do valor inserido indicou um aumento de $0,2^{\circ}\text{C}$ na temperatura interna. Por último, houve a variação da taxa de infiltração de ar, uma vez que algumas janelas não possuíam boas vedações, porém, a alteração aumentou o erro. Os autores ainda fizeram uma alteração combinada, na qual selecionaram os parâmetros que mais aproximaram a temperatura simulada da temperatura monitorada e consideraram que o resultado final foi satisfatório, com erro menor que $1,0^{\circ}\text{C}$, admitindo confiabilidade dos dados alcançados na simulação.

Silva e Ghisi (2013) analisaram a incerteza na simulação de uma residência térrea de baixa renda. O método foi baseado na aquisição dos dados relativos ao comportamento do usuário nos ambientes; processamento dos dados estatísticos; dados de entrada utilizados na simulação; análise da incerteza; análise de sensibilidade e determinação dos dados de saída. A análise de sensibilidade é utilizada para avaliar qual parâmetro mais influencia nos graus-hora de resfriamento e, assim, reduzir o número de parâmetros analisados. Os parâmetros variados na análise de sensibilidade são relativos ao: comportamento do usuário; fator radiante de equipamentos elétricos; taxa de infiltração; orientação; e absorvância, transmitância térmica, emissividade e capacidade térmica das superfícies externas. Para a análise foram adotados valores mínimos, médios e máximos em cada parâmetro. De modo geral, os parâmetros que mais influenciaram na análise sensitiva foram a absorvância das paredes e da cobertura, a representação da cobertura e a orientação da edificação. Essas quatro variáveis correspondem de 79,9% a 89,1% do total da variância.

Nota-se que a variação dos dados de entrada para calibração do modelo foi diferente nos casos expostos, com exceção dos estudos desenvolvidos por Pereira e Ghisi (2011) e

Pereira e Ghisi (2015), que correspondem ao mesmo estudo e metodologia, mas com diferentes abordagens. Observa-se que os diferentes métodos de calibração adotados pelos autores ocorreram em função das características das edificações e dos dados de entrada que mais surtem efeito na análise proposta. Destaca-se a importância que Pedrini (1997) e Paliouras *et al.* (2015) dão para a correta determinação do padrão de uso, visto que as cargas internas exercem grande influência na temperatura.

O trabalho desenvolvido por Pedrini, Westphal e Lamberts (2002) ressalta a importância em determinar o padrão de uso da edificação, estabelecendo horários de funcionamento de cada equipamento conforme a edificação real. Para isso, é indispensável a visita ao local acompanhado do usuário do ambiente. Pereira e Ghisi (2015) e Monetti *et al.* (2015) identificaram que a temperatura do solo foi o fator mais relevante para a calibração. Entretanto, considerando que analisaram uma edificação térrea, sabe-se que para uma edificação de múltiplos pavimentos a temperatura do solo não surte tanto efeito no último andar quanto no térreo. Dessa forma, para pavimentos que não estão em contato com o solo, a cobertura exerce maior influência do que o solo. Silva e Ghisi (2013) ressaltam que a representação da cobertura, absorvância das paredes e a orientação correta da edificação são parâmetros que devem ser adotados corretamente para calibrar a edificação simulada.

Nesse sentido, os dados de entrada que devem ser modificados em uma calibração dependem das condições da edificação monitorada, uma vez que cada edificação apresenta dados mais variáveis e influentes. O referencial teórico é válido, visto que determina as variáveis de entrada influentes que podem reduzir o tempo de calibração. Entretanto, os estudos possuem ressalvas e o método de calibração deve ser alterado e adaptado para a edificação avaliada.

2.5 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES

É possível analisar e avaliar o desempenho térmico de edificações a partir de diversos procedimentos, porém cada um possui limitações nos resultados e são mais adequados para determinadas localidades e situações. Por isso, nas seções

seguintes apresentam-se conceitos utilizados por pesquisadores para análise de desempenho térmico de edificações.

2.5.1 Distribuição de temperatura

A distribuição das temperaturas em máximas, mínimas e médias é um dos modos de análise adotada por pesquisadores. Segundo Papst (1999) este método é importante para identificar o comportamento da edificação em relação a entradas de frentes frias, radiação solar e aumento ou queda da temperatura externa, por exemplo. Papst (1999) revela dois métodos de análise: média mensal horária e média horária diária. A média mensal horária corresponde a uma média das temperaturas de cada horário durante todo o mês, enquanto a diária corresponde a uma média encontrada em cada hora durante um dia.

No estudo desenvolvido por Papst (1999), foram analisadas quatro edificações, mas somente três foram submetidas ao mesmo período de monitoramento das temperaturas e, por isso, são comparadas entre si. As residências se diferenciavam na arquitetura, características da envoltória, ocupação e localização. A análise foi feita baseada em uma média horária mensal e média horária diária de três meses do ano de cada residência isoladamente, para comparar os ambientes internos e posteriormente obter uma comparação entre as três edificações. A partir da distribuição da temperatura de bulbo seco, confrontaram-se os valores externos com os internos de cada ambiente das residências, o que possibilitou constatar os ambientes mais sujeitos a trocas térmicas com o exterior.

A análise da temperatura média horária mensal foi capaz de identificar o comportamento da temperatura interna de cada ambiente ao comparar com a temperatura externa a cada hora do dia. Esse critério de avaliação é útil para uma análise comparativa entre os ambientes internos ao longo do dia, sendo capaz de mostrar o comportamento do ambiente quando há uma mudança brusca de temperatura externa de uma frente fria. Ao observar as temperaturas máximas e mínimas, Papst (1999) identificou as amplitudes térmicas e, com isso, concluiu o que causa a diferença de temperatura. Os diferentes comportamentos entre os ambientes ocorriam devido a abertura de janelas, presença de cobertura, maior contato com a parede externa, orientação, dentre

outros fatores. Papst (1999) considera que uma análise de dois a cinco dias é suficiente para um diagnóstico, não sendo necessária a avaliação de um dia típico, uma vez que a temperatura externa é para servir de base na conclusão dos resultados. Este conceito obtém conclusões principalmente sobre o comportamento dos materiais da envoltória, comportamento do usuário, sombreamento, orientação, dentre outros parâmetros que influenciam na carga térmica.

No trabalho desenvolvido por Papst (1999) a média horária diária foi realizada baseada em três meses: janeiro, julho e outubro. A autora acredita que a análise da temperatura média diária é pouco representativa para avaliar o desempenho térmico dos ambientes, uma vez que pode corresponder a um dia atípico. Como a autora analisou três meses do mesmo ano, possibilitou-se a verificação das épocas que mais influenciam no ganho de calor em cada ambiente.

Marques (2008) analisou a variação de temperaturas e umidade relativa do ar de edificações residenciais para avaliar o desempenho térmico. O autor considerou durante todo o período de monitoramento as maiores, menores e a média de temperatura atingida, bem como definiu um dia de referência que corresponde à média das médias diárias. A análise foi de acordo com a faixa de conforto estabelecida por Givoni (1992), que varia de 18°C a 29°C para as temperaturas e até 80% para a umidade relativa do ar. Com esse procedimento o autor concluiu que a amplitude térmica interna das edificações é menor que a externa e as diferenças entre temperaturas internas se deu em função da orientação favorável ou desfavorável dos ambientes. Embora os resultados tenham sido esclarecedores para identificar as condições que fazem um ambiente possuir menor troca térmica que outros, o autor acredita que, por ter retirado os dados de monitoramento, o tempo foi insuficiente para obter maior detalhe sobre o clima externo. Mas acredita-se que o tempo de monitoramento foi suficiente para entender o comportamento da edificação.

A partir dos estudos analisados percebe-se que este conceito não tem como principal função determinar o desconforto térmico do usuário. É importante para uma análise do ganho de calor e das trocas térmicas e, assim, entender as condições que os ambientes estão sujeitos para justificar os diferentes tipos de

comportamento. Destaca-se a análise da temperatura média mensal utilizada por Papst (1999) a fim de obter uma melhor avaliação do desempenho térmico.

2.5.2 Graus-hora

Um dos conceitos amplamente utilizado nas pesquisas é o somatório de graus-hora que é utilizado para avaliar ambientes condicionados artificialmente e, assim, dimensionar o consumo de energia desses ambientes. Para ambientes não condicionados o conceito de graus-hora é útil para identificar as horas que os usuários provavelmente estão em conforto e desconforto térmico.

O conceito de graus-hora consiste em estabelecer uma temperatura base e a partir dela determinar a temperatura excedente em que a temperatura interna da edificação e a temperatura externa estão acima ou abaixo da temperatura base. Os graus-hora de resfriamento correspondem ao somatório da diferença entre a temperatura horária e a temperatura base quando a primeira está acima da temperatura base. Os graus-hora de aquecimento correspondem quando a primeira está abaixo da temperatura base. Como resultado, é possível comparar as edificações a partir do número de graus hora e, com isso, identificar as edificações com maior número de horas fora do “ideal” determinado, classificando-a com desempenho térmico inferior ao das demais. Nesse sentido, é necessário estabelecer duas temperaturas base, uma de “frio” e outra de “calor” para analisar as duas situações.

Givoni (1992) determina uma zona de conforto para países quentes e úmidos. Para o verão, 29°C correspondem ao valor limite de temperatura de conforto, e 20°C o valor mínimo para classificá-lo como confortável termicamente. Para o inverno há uma subtração de 2°C dos valores de verão, sendo 27°C o máximo e 18°C o mínimo.

Papst e Lamberts (2002) ao comparar o desempenho térmico de três residências naturalmente ventiladas utilizaram os conceitos de graus-hora, horas de desconforto e graus-médio. Horas de desconforto é o número de horas fora dos limites da zona de conforto. Graus-médio é a razão do somatório de graus-hora pelo número de horas acima ou abaixo da temperatura base, o qual permite identificar o quanto, em média, as temperaturas

internas do ambiente estão acima ou abaixo da temperatura base. No estudo foram utilizadas quatro temperaturas bases que possibilitaram verificar o número de horas de temperaturas acima de 25°C e 27°C e abaixo de 17°C e 19°C. Os resultados apresentaram os ambientes com pior e melhor desempenho para temperaturas acima e abaixo da base estipulada e os autores concluíram que a disposição e ocupação dos ambientes exercem forte influência no desempenho.

Papst e Lamberts (2002) conseguiram identificar que a temperatura interna sofre maior influência da temperatura externa no verão do que no inverno. Utilizar diferentes temperaturas bases trouxe resultados interessantes, pois para a temperatura base de 25°C as diferenças de graus-horas dos ambientes foram significativas, e para 27°C a variação é quase imperceptível. Para o procedimento de graus-médio ocorreu o mesmo, a análise com temperatura base de 27°C apresentou valores bem próximos entre os ambientes analisados, mas com 25°C os valores foram mais significativos. Nesse sentido, os autores sugerem que para uma melhor análise ao utilizar o conceito de graus-hora e graus-médio deve-se adotar várias temperaturas bases para confrontar os resultados obtidos.

Após o desenvolvimento do trabalho, Papst e Lamberts (2002) notaram que ao utilizarem os métodos de horas de desconforto e graus-médio identificou-se que a análise horária não é suficiente para entender o quanto em média as temperaturas ficam acima da temperatura base estipulada. Por isso, é necessária a utilização dos dois conceitos para uma melhor avaliação do desempenho térmico.

Papakostas e Kyriakis (2005) analisaram diversas temperaturas bases, que variavam a cada 0,5°C entre os valores de 10°C e 20°C, para graus-hora de aquecimento, e 20°C e 27,5°C, para graus-hora de resfriamento. Em uma avaliação mensal, os resultados mostraram que todas as temperaturas bases foram capazes de indicar, em uma mesma ordem, os meses com maior desconforto térmico. Valores de temperatura base extremos, como 10°C para aquecimento, reduziam as diferenças entre os meses avaliados, enquanto valores moderados, 18°C para aquecimento, aumentavam as diferenças.

No trabalho de Nico-Rodrigues *et al.* (2015) foi utilizado o conceito de graus-hora para avaliar a influência da janela no

desempenho térmico de edificações residenciais multifamiliares. Os autores estimaram a frequência e intensidade da sensação de desconforto térmico ao analisar o período que excede o limite de conforto e as flutuações da temperatura. Com isso, foi possível identificar as situações distintas para valores iguais de graus-hora e determinar a pior situação.

O conceito de graus-hora traz bons resultados na avaliação de desempenho térmico, uma vez que dimensiona o consumo de energia para climatizar o ambiente artificialmente e permite comparar se a edificação possui valor de graus-hora maior ou menor que outra. Sua limitação se dá na determinação da temperatura base, pois é um valor bastante relativo para considerar o ambiente em desconforto térmico, visto que o conforto térmico depende de outros parâmetros e não só da temperatura. Nesse sentido, o estudo de Papst e Lamberts (2002) recomenda a utilização de várias temperaturas bases para melhor análise, no entanto a mudança de temperatura base modifica apenas a diferença dos graus-hora em uma análise comparativa, conforme Papakostas e Kyriakis (2005). Deste modo, ao adotar um valor moderado de temperatura base, obtém-se diferenças mais significativas para uma análise comparativa. Outra limitação do conceito de graus-hora, é que são difíceis de serem interpretados. Nesse contexto, Papst e Lamberts (2002) têm como contribuição a adoção dos conceitos graus-médio e horas de desconforto, que permitem compreender e comparar diferentes casos que apresentam desconforto térmico. O trabalho de Nico-Rodrigues *et al.* (2015) comprova que os graus-hora permitem visualizar e comparar, por meio de análise gráfica, situações que possuem o mesmo valor de horas dentro do limite de conforto.

2.5.3 Carta Bioclimática

Alguns autores desenvolveram métodos de projetos bioclimáticos para aplicar na edificação. A carta bioclimática desenvolvida por Givoni (1976) é a mais utilizada na atualidade por apresentar resultados mais coerentes, uma vez que foi criada para corrigir as limitações da carta desenvolvida por Olgyay (1963) (GIVONI, 1992). A carta bioclimática de Givoni (1976) é ideal para países em desenvolvimento e se adequa melhor em países de clima quente e úmido, que corresponde ao Brasil. A carta é

dividida em nove zonas, na qual cada uma revela a estratégia de projeto a ser adotada na edificação, como mostra a Figura 1. A grande vantagem deste conceito em relação a outros é que este leva em consideração a umidade relativa do ar nas avaliações.

Figura 1 - Carta bioclimática para o Brasil e suas nove zonas de estratégia bioclimática.



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (1997).

Lomas *et al.* (2004) utilizaram a carta bioclimática para verificar se a ventilação noturna e o resfriamento evaporativo podem melhorar o conforto térmico dos usuários de um edifício de escritório. Os dados de temperatura e umidade foram plotados na carta com os valores médios diários no período de junho a setembro e, em outra análise, valores horários de 73 dias. Os dados diários permitiram verificar a possibilidade de conforto térmico em dias quentes, enquanto os dados horários permitiram identificar a porcentagem de conforto em relação aos horários em que os usuários estão no ambiente. Os autores também realizaram simulações com diferentes combinações de cargas internas e sistemas de ventilação. Nas avaliações, os autores notaram que os limites de resfriamento evaporativo, propostos por Givoni (1976), não são confiáveis para a edificação analisada, provavelmente, em virtude da alta carga interna e baixa exposição de massa térmica do edifício, que diferenciam da maioria dos modelos de estudos de Givoni (1976). Nesse sentido, a carta bioclimática pode ser mais adequada para edificações residenciais.

Singh, Mahapatra e Atreya (2007) analisaram as condições climáticas de doze lugares no nordeste da Índia e utilizaram a carta bioclimática para conhecer a estratégia solar passiva dos ambientes estudados. Os lugares avaliados estavam situados em três zonas bioclimáticas, que possuem climas quente-úmido, fresco-úmido e frio-nublado. Os autores plotaram linhas na carta psicométrica, sendo que os dois pontos da linha representavam a temperatura média mínima mensal com a umidade média mínima mensal e a temperatura média máxima mensal com a umidade média máxima mensal. Os resultados indicaram cinco estratégias, que variaram de acordo com a época do ano e o clima local. Os autores consideram que os resultados obtidos pela carta bioclimática auxiliam os projetistas a construir edificações de acordo com as estratégias de *design* passivo.

Pereira e Ghisi (2011), após pesquisarem sobre a influência do envelope no desempenho térmico de residências unifamiliares ocupadas e ventiladas naturalmente, adotaram o conceito da carta bioclimática na avaliação. Valores de temperatura e umidade, que foram obtidos através da simulação com o programa *EnergyPlus*, foram inseridos no programa *Analysis Bio* (LABEEE, 2015) para obter a carta bioclimática. Com a variação do envelope no modelo de simulação foi possível verificar as horas de desconforto de cada variação de simulação.

Por meio da carta bioclimática, gerada pelo programa *Analysis Bio*, os autores conseguiram identificar que para o quarto submetido a uma situação não ventilada a porcentagem de umidade provoca pouca variação dos pontos na carta. Em situação de ventilação há maior diferença, logo maior distribuição dos pontos no gráfico, atingindo as zonas de conforto, ventilação natural e aquecimento solar. Os resultados trouxeram a porcentagem de desconforto das vinte e seis simulações realizadas, a qual mostra que a mudança no envelope, em situações sem ventilação natural e ocupação, varia a porcentagem de 43,2% a 57,4% para o quarto e, de 42,6% a 56,4% para a sala. Os mesmos ambientes, mas com ocupação e ventilação natural, a mudança de envelope trouxe variações entre 57,4% e 69,0% de desconforto para o quarto, enquanto para a sala variou de 58,8% a 68,9%.

Neste caso, os autores concluíram que os valores de umidade são um dos fatores que aumentam o desconforto e que

a ventilação durante o dia é desfavorável. Utilizando a carta bioclimática de Givoni (1976), Pereira e Ghisi (2011) conseguiram resultados satisfatórios ao obter porcentagens de desconforto geral, por calor e frio, e as estratégias bioclimáticas ao analisar o gráfico gerado pelo programa *Analysis Bio*. Deste modo, conseguiram identificar as melhores composições da envoltória, para a edificação analisada, a fim de obter o melhor desempenho térmico.

Barbosa e Lamberts (2001) desenvolveram uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais em Londrina-PR e utilizaram a carta bioclimática de Givoni (1976) para verificar a adequação da edificação. Os autores aplicaram questionários com os usuários a respeito da sensação térmica que têm no ambiente e as respostas foram plotadas na carta. Os valores de sensação térmica correspondem aos sete pontos da ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) que variam em -3, -2, -1, 0, +1, +2 e +3 que representam: muito frio, frio, pouco frio, bom, pouco quente, quente e, muito quente. Incluíram na marcação do gráfico os dados coletados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar e, assim, puderam confrontar as respostas dos usuários com a zona de conforto estabelecida por Givoni.

Os resultados mostraram que 31 pontos ficaram acima da temperatura de 29°C, 23 pontos abaixo de 18°C e, 74 pontos acima da zona de conforto. Sessenta e quatro pontos obtiveram respostas com sensação térmica igual a zero, que corresponde a uma sensação confortavelmente boa, porém, 60% dos 64 pontos estavam dentro da zona de conforto e o restante estava fora da zona de conforto determinada por Givoni (1992).

Para Givoni (1992) umidades relativas do ar acima de 80% não são consideradas confortáveis. Barbosa e Lamberts (2001) conseguiram confrontar essa premissa, mostrando que os usuários têm uma boa aceitação de conforto com umidades acima de 80% quando combinadas com valores de temperatura do bulbo seco entre 18°C e 29°C. Nesse sentido, Barbosa e Lamberts (2001) obtiveram uma boa contribuição ao identificar uma boa aceitação dos usuários acima da zona de conforto estabelecida por Givoni.

O programa *Analysis Bio* (LABEEE, 2015) é amplamente utilizado por pesquisadores devido a sua facilidade no manuseio, que permite transpor todos os dados na carta bioclimática, auxiliando no processo de adequar a edificação à situação climática. Por se tratar de um conceito de Givoni, o programa considera as temperaturas base de conforto por calor e frio como 29°C e 18°C, respectivamente, e valores de umidade que se encontram entre o intervalo de 20 e 80% são considerados confortáveis. Os estudos analisados mostraram que o conceito da carta bioclimática é satisfatório para a análise de desempenho térmico. Sua limitação se encontra na umidade relativa que, para Givoni (1992), acima de 80% é considerado desconfortável e o estudo de Barbosa e Lamberts (2001) mostrou que as pessoas admitem umidade relativa do ar acima de 80%. Outra limitação desse conceito é de não levar em consideração a ventilação natural, que permite aumentar os limites de aceitabilidade térmica. De modo geral, o procedimento é satisfatório, uma vez que leva em consideração a umidade relativa do ar e traz estratégias para melhoria da edificação, a fim de torná-la confortável termicamente.

2.5.4 Avaliação pelas normas brasileira de desempenho

No Brasil foram implantadas normas de regulamentação que visam melhorar as condições das edificações brasileiras. A NBR 15.220 (ABNT, 2005), que está em vigor, refere-se ao desempenho térmico de edificações e é dividida em cinco partes. As partes dois e três da norma expõem os métodos de cálculo das propriedades térmicas dos elementos construtivos das edificações e as diretrizes construtivas para as habitações.

A NBR 15.220 apresenta diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social de acordo com o zoneamento bioclimático. Dentre as diretrizes estão as indicações de: área de aberturas, proteção das aberturas, característica das vedações externas e estratégias de condicionamento térmico passivo. Os critérios estabelecidos pela NBR 15.220 indicam que a residência deve estar adequada de acordo com a zona bioclimática em que ela está inserida, sendo este um critério mínimo e obrigatório para classificação de desempenho térmico. As estratégias indicadas na NBR 15.220 foram baseadas no

conceito da carta bioclimática desenvolvida por Givoni (1992) e em planilhas desenvolvidas por Mahoney (RORIZ, 2012).

Outra norma que está em vigor é a NBR 15.575, a qual é indicada para edificações habitacionais e apresenta critérios e requisitos para verificação dos níveis mínimos de desempenho. Na NBR 15.575 consta um procedimento normativo para classificar as habitações, ou seja, critérios para verificação dos níveis de desempenho térmico para edificações de acordo com a zona bioclimática que está inserida. A norma apresenta duas maneiras de obter a classificação: por simulação ou medição. O método por simulação é apropriado para projetos em desenvolvimento, enquanto o método por medição é indicado para edificações existentes. Ressalta-se que a NBR 15.575 não leva em consideração o condicionamento artificial, assim, os critérios e requisitos indicados envolvem apenas as condições naturais de ventilação e insolação.

A quarta e quinta partes da norma estabelecem limites para os valores de transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância dos elementos construtivos da envoltória, sendo que essa classificação é dividida em níveis que variam em mínimo, intermediário e superior. Caso a edificação não atenda nenhum dos critérios estabelecidos por norma, o ambiente é considerado insatisfatório. Ressalta-se que a norma recomenda que a edificação esteja dentro do estabelecido pela NBR 15.220 para obter a mínima classificação de desempenho térmico. As Tabelas 2 e 3 mostram os valores limites aceitáveis para cada classificação de acordo com a zona bioclimática em que a edificação está inserida e a estação verão ou inverno. Destaca-se que a aplicação dos valores limites é essencialmente destinada aos ambientes de permanência prolongada (estar e dormitórios).

Para o procedimento de verificação do atendimento aos requisitos e critérios de medição *in loco*, é necessário verificar se as propriedades térmicas estão de acordo com os valores estabelecidos por norma. O critério de avaliação das variáveis de parede e cobertura diz respeito aos valores máximos admissíveis para a envoltória da edificação para obter o nível mínimo de desempenho. O mínimo de aceitação da abertura da janela é indicado para ambientes de permanência prolongada, como quarto e sala. Os critérios estabelecidos pela norma demonstram que existe uma relação de amortecimento térmico entre a

temperatura externa e a interna; e quanto maior o amortecimento melhor é a classificação de nível de desempenho da edificação, como apresenta a Tabela 3.

Tabela 2 - Valores aceitos para determinar o nível de desempenho.

Variável	Nível de desempenho	Critério de avaliação		
		Zona 1 a 7	Zona 8	
Abertura	Mínimo de aceitação	$A \geq 7\%$ da área do piso	$A \geq 12\%$ da área do piso (região norte) $A \geq 8\%$ da área do piso (região nordeste e sudeste)	
		Zona 1 e 2	Zona 3 a 6	Zona 7 e 8
Cobertura	Valores mínimos admissíveis	$U \leq 2,3$ W/m ² .K	Se $\alpha > 0,6$ e $U \leq 1,5$ W/m ² .K	Se $\alpha > 0,4$ e $U \leq 1,5$ W/m ² .K
			Se $\alpha \leq 0,6$ e $U \leq 2,3$ W/m ² .K	Se $\alpha \leq 0,4$ e $U \leq 2,3$ W/m ² .K
		Zona 1 e 2	Zona 3 a 8	
Paredes externas	Valores mínimos admissíveis	$U \leq 2,5$ W/m ² .K	Se $\alpha > 0,6$ e $U \leq 2,5$ W/m ² .K	
	Valores mínimos admissíveis	CT ≥ 130 kJ/m ² .K	Se $\alpha \leq 0,6$ e $U \leq 3,7$ W/m ² .K	
			Sem requisito	

A: área

CT: capacidade térmica

U: transmitância térmica

α : Absortância à radiação solar da superfície externa da parede

Fonte: NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Tabela 3 - Critérios de avaliação de desempenho térmico de edificações.

Estação	Nível de desempenho	Zona 1 a 7	Zona 8
Verão	Mínimo (M)	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
	Intermediário (I)	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^{\circ}\text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 1^{\circ}\text{C})$
	Superior (S)	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4^{\circ}\text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^{\circ}\text{C})$ e $T_{i,min} \leq (T_{e,min} + 1^{\circ}\text{C})$
Estação	Nível de desempenho	Zona 1 a 5	Zona 6,7 e 8
Inverno	Mínimo (M)	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3^{\circ}\text{C})$	Nestas zonas este critério não precisa ser verificado
	Intermediário (I)	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 5^{\circ}\text{C})$	
	Superior (S)	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 7^{\circ}\text{C})$	

Ti: Temperatura interna; Te: Temperatura externa;
 Min: Mínima temperatura do ar diária obtida;
 Máx: Máxima temperatura do ar diária obtida.

Fonte: NBR 15.575 (ABNT, 2013).

As normas 15.220 e 15.575 se contrapõem ao indicar o tamanho ideal da abertura em um ambiente. A NBR 15.220 classifica as aberturas de ventilação em pequenas, médias e grandes, variando de 10% a 15% da área do piso para as pequenas aberturas, 15% a 25% para médias e, maiores que 40% consideram-se aberturas grandes. A NBR 15.220 recomenda a utilização de aberturas médias nas zonas bioclimáticas de 1 a 6, pequenas para a zona 7 e, grandes aberturas para a zona 8. A NBR 15.575 classifica as zonas de 1 a 7 com aberturas médias, que deve ser maior que 7% enquanto, a zona 8 é classificada em grandes aberturas sendo que, para a região norte deve ser maior que 12% e para as regiões nordeste e sudeste maiores que 8% da área do piso. Existe uma diferença significativa quanto à porcentagem de abertura indicada pelas normas.

De modo geral, a análise de desempenho térmico pelas normas brasileiras envolve, principalmente, os materiais utilizados na envoltória e o tamanho das aberturas. Consideram-se os

critérios de avaliação estabelecidos pelas normas pouco representativos para uma análise comparativa, uma vez que estabelece critérios mínimos de classificação. Nesse sentido, as normas apresentam relevância para a avaliação de uma edificação, dificultando uma análise comparativa entre edificações que possuem poucas diferenças.

2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O referencial teórico abordou questões referentes à influência da orientação solar no desempenho térmico de edificações. Foram abordados assuntos que auxiliam no desenvolvimento da pesquisa, como o comportamento do usuário, monitoramento de edificações, simulação computacional com ênfase na calibração do modelo de referência e os métodos para avaliação do desempenho térmico.

A revisão de literatura mostrou numerosos estudos que avaliaram a influência da orientação no desempenho térmico. Os estudos afirmaram a importância e relevância da orientação, uma vez que adotar somente estratégias de sombreamento não é suficiente para tornar uma edificação eficiente energeticamente. O posicionamento da edificação quanto à orientação solar deve ser o primeiro passo a ser realizado na concepção do projeto arquitetônico para, depois, adotar as estratégias de sombreamento. Através das pesquisas analisadas, percebe-se que, em sua maioria, não se obteve valores reais comparativos entre edificações de mesma arquitetura, composição da envoltória e padrão de uso. As análises foram realizadas principalmente em relação à carga de radiação solar recebida por uma superfície externa.

Na seção referente ao comportamento do usuário na edificação, identificou-se a influência que o usuário tem no desempenho térmico da edificação. Por isso, acredita-se ser insuficiente comparar a influência do posicionamento das edificações quanto à orientação solar realizando somente o monitoramento *in loco*; uma vez que, se tratando de edificações ocupadas, há diferenças no padrão de uso. Nesse contexto, considera-se importante realizar o monitoramento da edificação a fim de obter os dados para calibração de um modelo de referência de simulação computacional e, assim, obter um modelo simulado

bem próximo da edificação real. Feito isso, é possível simular edificações adotando o mesmo comportamento do usuário e adquirindo resultados fiéis à edificação real.

A seção de monitoramento de edificações discorre basicamente a respeito do período de monitoramento, equipamento utilizado e localização do equipamento. Com a revisão de literatura é possível afirmar que não é necessário um período de monitoramento muito extenso quando os dados são utilizados para a calibração de um modelo. Contudo, é preciso obter dados de um período de referência e que preferencialmente apresente padrão de uso exatamente conhecido, a fim de diminuir o tempo destinado à calibração.

A calibração de um modelo de referência se mostrou relevante para analisar a influência de um parâmetro específico. Entretanto, a revisão de literatura apresentou vários métodos de calibração e cada estudo identificou um dado de entrada mais influente na calibração. Levando em consideração que cada estudo utilizou um modelo de referência com padrões arquitetônicos distintos, é importante ressaltar que os parâmetros que devem ser modificados dependem primeiramente da tipologia da edificação analisada. Assim, tem-se conhecimento dos parâmetros que mais influenciam na calibração de um modelo para, primeiramente, alterá-los, a fim de diminuir o tempo destinado à calibração.

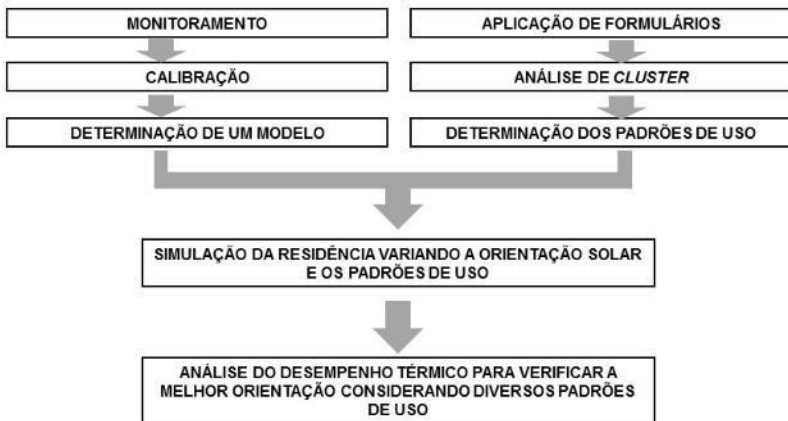
A seção referente aos conceitos de avaliação de desempenho térmico possibilitou determinar quais conceitos são mais adequados para a avaliação proposta. Foi possível conhecer as limitações e vantagens da utilização de cada um e, assim, definir a melhor utilização de cada conceito de acordo com os resultados obtidos pelas pesquisas analisadas.

De modo geral, a revisão de literatura foi essencial para definir as variáveis que precisam ser levantadas e os conceitos que devem ser utilizados para uma análise adequada do desempenho térmico das edificações. A partir da revisão de literatura percebe-se a necessidade de verificar a influência da orientação solar no desempenho térmico das edificações. Deve-se dar enfoque às edificações reais, mas submetidas ao mesmo comportamento do usuário, tipologia arquitetônica, condição climática, dentre outros parâmetros que influenciam na carga térmica.

3 MÉTODO

Este capítulo elucida as etapas necessárias para o desenvolvimento da pesquisa. Apresenta-se a escolha da edificação monitorada, os equipamentos utilizados, etapas para calibração, determinação dos padrões de uso, simulação e os procedimentos para avaliação do desempenho térmico. A Figura 2 mostra, resumidamente, o processo adotado.

Figura 2 – Fluxograma do método.



Essencialmente, este trabalho foi desenvolvido em cinco etapas principais. Primeiramente, realizou-se o monitoramento de uma residência unifamiliar localizada em um condomínio que possui edificações com mesma tipologia arquitetônica e propriedade dos materiais da envoltória. Nesta etapa, foi realizada a medição da temperatura e umidade do ar interna e externa à residência para calibrar o modelo que foi utilizado na simulação computacional.

Na segunda etapa fez-se a calibração de um modelo residencial para que os resultados das simulações ficassem o mais próximo possível da condição real da edificação monitorada.

A terceira etapa corresponde à determinação dos padrões de uso. Foram aplicados formulários a respeito do comportamento do usuário na edificação. O formulário foi aplicado em algumas residências do condomínio, com a finalidade de obter padrões de uso de usuários que estão submetidos às condições semelhantes

de clima e ambiente. Através da análise de *cluster*, que é uma análise estatística, determinaram-se grupos com padrões de uso similares que foram utilizados nas simulações.

A quarta etapa corresponde à simulação da edificação. Para isso, foi utilizado o modelo residencial calibrado. Após a calibração, procedeu-se a simulação que foi realizada diversas vezes considerando as combinações dos comportamentos dos usuários, obtidos pela análise dos formulários, e da orientação da edificação nas oito orientações principais: 0°N, 45°NE, 90°L, 135°SE, 180°S, 225°SO, 270°O e 315°NO. Tem como objetivo obter valores de temperatura operativa, temperatura do ar e umidade relativa do ar para realizar análise de desempenho térmico.

A última etapa corresponde à análise do desempenho térmico das edificações e, para isso, foram utilizados os conceitos de horas de desconforto, graus-médio e carta bioclimática como parâmetro de comparação. Realizou-se uma análise comparativa com o objetivo de averiguar qual a melhor orientação solar, levando em consideração os padrões de uso obtidos na análise de *cluster*, e qual ambiente avaliado resultou em melhor desempenho térmico. Assim, foi possível verificar qual a combinação de variáveis que proporcionou resultado mais satisfatório. As análises foram feitas de duas formas: considerando as horas totais anuais e considerando as horas ocupadas.

3.1 MONITORAMENTO DA EDIFICAÇÃO

A primeira etapa do desenvolvimento da pesquisa corresponde ao monitoramento da edificação residencial. Esta seção é dividida em duas etapas. A primeira corresponde à escolha e caracterização do estudo de caso. Em seguida, são elucidados os procedimentos adotados para medição da temperatura e umidade relativa do ar, destacando os cuidados com o equipamento de monitoramento.

3.1.1 A cidade

A cidade de Goiânia está situada na região Centro-Oeste do Brasil, latitude 16°41'sul e longitude 49°17'oeste, em altitudes que variam entre 600 e 1000 metros. A cidade é caracterizada pela

continentalidade e regularidade do deslocamento de massa de ar, resultando em duas estações bem marcantes: chuvosa e seca. Deste modo, Goiânia possui clima tropical com duas estações bem definidas, verão quente-úmido e inverno quente-seco, com as chuvas concentradas no verão e temperaturas médias que variam entre 18°C e 26°C. Ressalta-se que no período de inverno há maior amplitude térmica diária e baixa umidade relativa do ar, mas as temperaturas médias diárias são equivalentes durante o ano todo.

Resumidamente, Goiânia é quente no período da tarde, durante o ano todo, e fria durante a madrugada, somente na estação seca, o que justifica a maior amplitude térmica nesta estação. Embora as menores temperaturas ocorram durante o período seco, a baixa nebulosidade nesse período resulta em radiação solar direta maior do que no período chuvoso, aumentando a sensação térmica de calor durante o período seco. A região está situada na Zona Bioclimática 6, conforme é estabelecido pela NBR 15.220 e indicado na Figura 3.

Figura 3 - Zoneamento bioclimático brasileiro conforme NBR15220, com ênfase na zona em que Goiânia está inserida.



*Nota: A localização aproximada de Goiânia está indicada em vermelho.

3.1.2 Estudo de caso

Tendo em vista que o estudo tem como propósito analisar a influência da orientação da edificação e do padrão de uso no desempenho térmico, foram tomadas algumas diretrizes para a escolha da residência monitorada. Buscaram-se edificações com

mesma tipologia arquitetônica, áreas envidraçadas, materiais empregados na envoltória e proximidade de uma edificação com a outra. Embora o monitoramento ocorra somente em uma edificação, prevaleceram essas diretrizes com o objetivo de aplicar os formulários para obter padrões de uso em residências com características arquitetônicas semelhantes à monitorada.

Determinadas as diretrizes, optou-se por desenvolver a pesquisa em residências localizadas no condomínio residencial horizontal Privê dos Girassóis, localizado na Rua José Hermano, Goiânia – Goiás. As residências possuem mesma tipologia arquitetônica com variações na orientação solar e no comportamento do usuário. Na Figura 4 é possível identificar a localização da edificação monitorada, com fachada frontal orientada a 267°. A seleção da residência se deu em virtude da disponibilidade e aceitação dos usuários em permitir o estudo, pois durante toda a medição a residência ficou ocupada como de costume.

Figura 4 – Localização do condomínio e da residência.



*Nota: A localização da residência monitorada está indicada em azul.

A Figura 5 apresenta a fachada frontal de uma das edificações do condomínio, nota-se que as edificações são geminadas e a distância entre cada edificação geminada é de 2,0 metros.

Figura 5 – Exemplo da composição das edificações do condomínio.



Como mencionado, as residências possuem mesma tipologia arquitetônica e componente construtivo da envoltória. No entanto, há variação quanto à existência da cobertura na garagem, distribuição dos espaços no andar térreo, variação nos espaços do quarto dos fundos do andar superior e a existência do quintal dos fundos. A fachada frontal da edificação monitorada pode ser observada na Figura 6.

Figura 6 - Fachada frontal da residência monitorada.



A Tabela 4 apresenta os materiais construtivos da envoltória da residência monitorada e das residências cujos moradores responderam os formulários a respeito do padrão de uso.

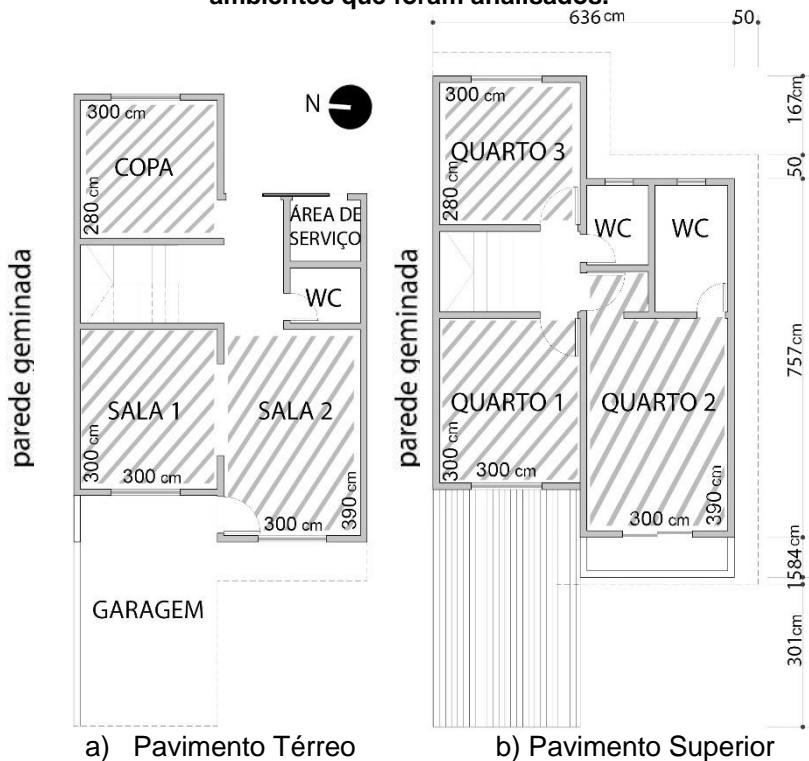
Tabela 4 - Materiais utilizados na composição da envoltória da residência.

Objeto	Material
Esquadria	Alumínio anodizado cor bronze liso.
Janelas	Janela dos quartos de correr com três folhas, sendo uma de vidro de 4mm e duas de alumínio anodizado na cor bronze liso, os demais ambientes apresentam janela de correr com duas folhas de vidro de 4mm.
Portas	Madeira.
Parede Externa	Tijolo cerâmico seis furos 9cm de espessura mais argamassa dos dois lados. Espessura total aproximada de 14 cm. Textura acrílica cor branco gelo. O peitoril da sacada é pintado na cor amarela.
Cobertura	Telha cerâmica na cor natural, terracota, com laje de concreto de aproximadamente 12 cm de espessura.

As análises de desempenho térmico foram feitas em apenas seis ambientes da residência, ou seja, três quartos, duas salas e uma cozinha.

O quarto 1 (Figura 7) é composto por uma abertura de 1,8m², um beiral de 50cm de profundidade e somente uma das quatro paredes é voltada para a área externa, sendo duas paredes voltadas para a área interna e uma adjacente à edificação geminada. O quarto 2 possui duas paredes voltadas à área externa, uma varanda com 85cm de profundidade, beiral de 99cm de profundidade e uma abertura de 4m². O quarto 3, sala 1, sala 2 e cozinha possuem uma abertura de 1,8m². A Figura 7 apresenta a planta baixa da residência monitorada com destaque para os seis ambientes que foram analisados.

Figura 7 - Planta baixa da edificação monitorada. Com ênfase nos ambientes que foram analisados.



3.1.3 Medições das variáveis climáticas *in loco*

As medições *in loco* servem para calibração do modelo computacional. Alguns cuidados como a especificação do equipamento, aferição, instalação, período de medição e o procedimento para coleta dos dados, são fatores importantes que devem ser determinados para obter melhores resultados e, por isso, estão aqui definidos.

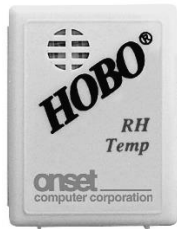
Embora todos os ambientes da edificação devam ser monitorados, uma vez que influenciam no processo de calibração, não foi possível monitorá-los em virtude da indisponibilidade dos moradores. Portanto, o monitoramento ocorreu apenas nos quartos 1 e 2 indicados na Figura 7.

3.1.3.1 Especificação dos equipamentos utilizados

Para a medição foram necessários três *dataloggers* do modelo HOBO *Launch Dialog ONSET* (Figura 8) que mede temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar. O HOBO opera na faixa de temperatura de -20°C a 90°C e faixa de umidade de 0% a 95%. Ressalta-se que esse equipamento possui uma imprecisão de 0,7°C de temperatura e 0,5% de umidade, considerando uma temperatura de 21°C (ONSET, 1999).

A escolha do equipamento se deu pela facilidade de manuseio, facilidade de leitura de dados e, principalmente, pela sua capacidade de armazenar os dados em intervalos de tempo específicos. Foram utilizados dois *dataloggers* na residência, sendo um em cada quarto e um *datalogger* situado na área externa para medir a temperatura do ar externo no entorno da residência.

Figura 8 - Instrumento utilizado para medir temperatura. HOBO TEMP-RH da Onset®.



3.1.3.2 Aferição dos equipamentos

A realização da aferição dos equipamentos foi feita colocando-os em uma caixa de isopor, que é um material isolante, sendo monitorados por três dias para medir valores de temperatura e umidade relativa do ar. Após a coleta dos dados de cada equipamento calculam-se a média obtida de cada equipamento e a média geral obtida dos três equipamentos. A diferença entre as médias corresponde ao coeficiente de subtração ou adição que deve ser aplicado para corrigir a medição do equipamento. Como a diferença entre as médias foi maior que a faixa de precisão do equipamento, no Apêndice A constam os coeficientes de subtração ou adição que devem ser somados nos valores medidos a fim de padronizar os dados medidos.

3.1.3.3 Instalação dos equipamentos

Para os ambientes internos da edificação preocupou-se em instalar os equipamentos na região central do ambiente, porém o *layout* do mobiliário do quarto 2 não permitiu que os equipamentos ficassem centralizados. Portanto, no quarto 1 o equipamento foi locado no centro do ambiente, enquanto no quarto 2 foi deslocado em relação ao eixo central e mais próximo da parede externa frontal. Todos os equipamentos de ambos os quartos ficaram pendurados por um fio fixado na luminária e a 1,9 metros de altura em relação ao piso, uma vez que é uma altura segura e permite que os usuários circulem no ambiente. A Figura 9 mostra o local de instalação do equipamento nos ambientes internos e externo.

Na área externa, o equipamento foi fixado a uma altura de 4,7 metros em relação ao solo. A altura corresponde ao somatório entre o pé-direito do andar térreo e 1,9 metros da altura dos equipamentos locados internamente às residências. O equipamento externo foi posicionado embaixo de um beiral, por ser um local seguro. A locação do equipamento externo foi determinada em função das regras do condomínio, que não permite exposição de objetos nas áreas comuns e nem nas fachadas frontais das edificações. Portanto, o equipamento foi instalado nos fundos da edificação.

Figura 9 - Planta baixa do pavimento superior com localização dos equipamentos.



*Nota: A localização do equipamento na área externa está demarcada em azul, e a localização dos equipamentos na área interna, em rosa.

Ressalta-se que para o equipamento localizado em área externa foi construída uma barreira radiante para protegê-lo e evitar os efeitos da radiação solar na temperatura do ar. O equipamento foi envolvido por um papelão, revestido por papel alumínio, e aberto nas laterais para permitir ventilação, como mostra a Figura 10.

Figura 10 - Equipamentos internos e externos.



a) Equipamento interno.



b) Proteção para equipamento externo.

3.1.3.4 Período de medição

O monitoramento da edificação ocorreu entre 21 de dezembro de 2015 e 30 de janeiro de 2016. A data da medição foi estipulada em função da disponibilidade dos usuários residentes em permitir as medições e visitas. A data permitiu monitorar duas situações distintas: ocupada com as rotinas usuais ao longo do ano e desocupada devido às férias. O tempo de medição foi determinado após a revisão de literatura que mostrou que para calibração de um modelo não é necessário um longo período de monitoramento. Ressalta-se que o equipamento foi programado para medir as variáveis a cada 15 minutos.

3.1.3.5 Procedimento de coleta dos dados

Para a leitura dos dados utilizou-se o programa *BoxCar Pro 4.0* que possibilita a transferência dos dados para o Excel, transformando-os em gráficos e tabelas, o que permite melhor análise gráfica. Destaca-se que os dados obtidos no monitoramento foram transformados em média horária para realizar a calibração.

3.2 CALIBRAÇÃO

O modelo inicial que foi calibrado é considerado como o caso base, que possui as características da edificação real

monitorada. Para realizar a simulação foi utilizado o programa *EnergyPlus* versão 8.4 e para modelar a edificação utilizaram-se os programas *Sketchup* e *OpenStudio*. Optou-se pelo *EnergyPlus*, uma vez que se trata de um programa recomendado pela NBR 15.575 para avaliação do desempenho térmico. Foi utilizado o *OpenStudio* por ser um plug-in associado ao *EnergyPlus*, que auxilia no processo de modelagem realizado no *Sketchup*.

3.2.1 Caso base

A simulação ocorreu em terreno de subúrbio, que caracteriza a área em que a edificação monitorada está inserida, e o arquivo climático adotado nas análises finais de simulação é o EPW (*Energyplus Weather Data*) de Goiânia³. Sabe-se que o arquivo TRY (*Test Reference Year*) é o mais adequado para esse tipo de análise, entretanto até o momento da publicação deste trabalho não existe arquivo TRY para a cidade de Goiânia. Destaca-se que para o processo de calibração foi adotado um arquivo climático com os dados reais, referente ao período do monitoramento da edificação, que foram registrados no monitoramento *in loco* e na estação meteorológica da cidade de Goiânia adquiridos no site do INMET (2016). Os demais parâmetros utilizados estão indicados na Tabela 5.

Tabela 5 - Parâmetros utilizados para simulação no *EnergyPlus*.

Parâmetros adotados	
Arquivo Climático	Goiânia EPW
Terreno	Subúrbio
Distribuição solar	Completa interior e exterior
Timestep	4 por hora
Orientação	267°SO

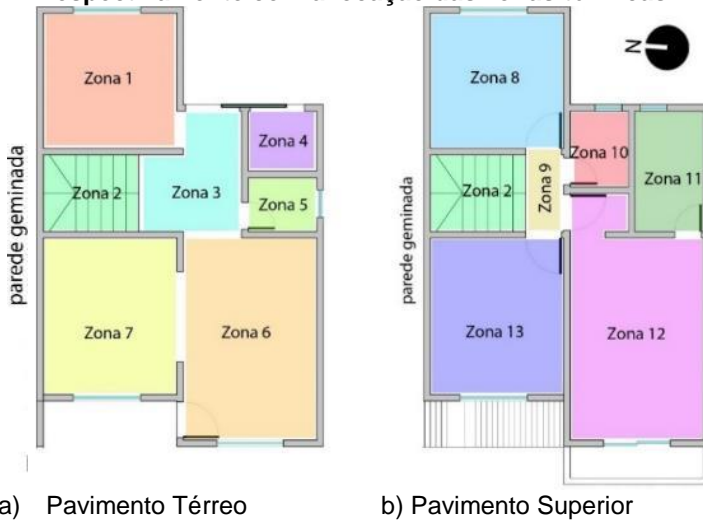
O modelo que representa as condições da residência unifamiliar monitorada possui 104,24 m² de área e foi dividido em treze zonas térmicas que correspondem ao número total de ambientes na edificação, conforme mostra a Figura 11.

Ressalta-se que a zona 4, demarcada na Figura 11, foi definida, mas não exerce influência, pois não possui abertura

³ O arquivo climático adotado está disponível no endereço: <http://climate.onebuilding.org/>.

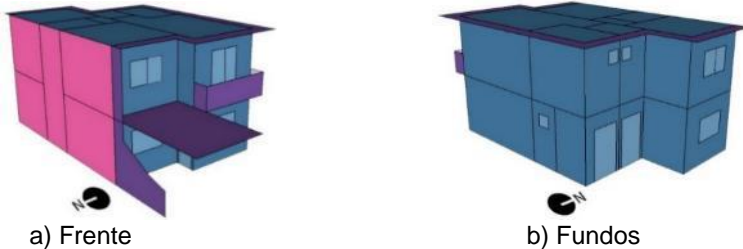
voltada para a área interna da edificação, logo, não permite ventilação cruzada. A cobertura foi modelada considerando uma câmara de ar com resistência térmica de 0,21 m²K/W, que é recomendado para superfícies com alta emissividade (ABNT, 2013a). A caixa de escada foi modelada como sendo uma única zona térmica.

Figura 11 - Planta baixa dos pavimentos térreo e superior, respectivamente com a locação das zonas térmicas.



Por se tratar de uma edificação geminada, uma das paredes externas foi considerada adiabática, enquanto as outras correspondem a paredes voltadas para o exterior. Nota-se, na Figura 12, a parede adiabática que está demarcada com cor rosa.

Figura 12 - Perspectivas volumétricas.



Nota: A superfície com cor rosa representa a parede adiabática.

Embora os ambientes analisados não estejam em contato direto com o solo, foi necessário simulá-lo para obter resultados satisfatórios, uma vez que há troca de calor entre o solo e o piso térreo. Os dados de entrada foram baseados no trabalho de Melo, Lamberts e Mazzafero (2015), que utilizam o objeto de entrada *Ground Domain* para simular a troca de calor. Os dados de entrada referentes à temperatura média mensal foram obtidos no arquivo climático de Goiânia e inseridos no objeto *Site:GroundTemperature:Shallow*. Em *Site:GroundDomain:Slab* foi utilizado o modelo *KusudaAchenbach* e em *Site:GroundTemperature:Undisturbed* foram utilizados os valores como *default*, indicados pelo programa (MELO; LAMBERTS; MAZZAFERO, 2015).

Foram utilizados os materiais empregados na edificação original, conforme indicado na Tabela 4, para a simulação da edificação. Os valores referentes à massa específica, condutividade e calor específico do material foram obtidos na NBR 15.220 (ABNT, 2005) e Ordenes *et al.* (2003).

A Tabela 6 apresenta os parâmetros adotados para composição das paredes, cobertura, piso da edificação e esquadria da janela. Os valores de absorvância térmica adotados são os indicados pela NBR 15.220, que foram definidos após a observação *in loco* dos materiais. A edificação é pintada nas cores branco gelo, fosco pérola e amarelo, por isso foi adotada uma absorvância de 0,3 para todas as cores. A composição da parede corresponde à argamassa, tijolo cerâmica furado, resistência térmica da câmara de ar, tijolo cerâmica furado e argamassa. A resistência térmica da câmara de ar do tijolo furado é de $0,16\text{m}^2\text{K/W}$, conforme indicado por Ordenes *et al.* (2003). A cobertura é composta por telha cerâmica mais câmara de ar com resistência térmica de $0,21\text{m}^2\text{K/W}$ e laje de concreto. O piso é modelado como piso cerâmico, argamassa, laje de concreto e argamassa. Para o vidro da janela foi adotada uma espessura de 4mm e condutividade de $0,9\text{W/mK}$. Foram adotados os valores indicados pela biblioteca do *EnergyPlus* para os demais valores das propriedades físicas do vidro. A transmitância térmica da parede é de $2,28\text{W/m}^2\text{K}$ e a da cobertura é de $1,93\text{W/m}^2\text{K}$.

Tabela 6 - Propriedades físicas dos materiais.

Elemento	Rugosidade	Espessura (m)	Condutividade (W/mK)	Massa específica (kg/m³)	Calor específico (J/kgK)	Absortância solar das superfícies externas	Resistência térmica (m².KW)
Argamassa	Média	0,03	1,15	2000	1000	-	0,022
Tijolo cerâmica de seis furos	Média	0,03	0,90	1232	920	-	0,033
Laje de concreto	Rugoso	0,12	1,75	2200	1000	-	0,069
Telha de barro	Média	0,01	1,05	1764	920	0,4	0,010
Madeira para porta	Lisa	0,03	0,29	900	1340	0,3	0,103
Piso cerâmico	Lisa	0,01	0,90	1600	920	-	0,011
Alumínio anodizado cor bronze	Lisa	0,03	0,23	2700	880	0,8	0,043

Após o período de monitoramento, que ocorreu entre 21 de dezembro de 2015 e 30 de janeiro de 2016, os moradores informaram que entre 28 de dezembro de 2015 e 13 de janeiro de 2016 a edificação estava desocupada. Dessa forma, o padrão de uso tem as características indicadas na Tabela 7, uma vez que calibrar uma edificação sem uso, ou com o uso muito bem conhecido, simplifica o processo de calibração. Porém, calibrar um modelo com ocupação usual traz melhores resultados, uma vez que leva em consideração o funcionamento da ventilação natural. Entretanto, quando a casa ficou ocupada, não houve modificações na abertura das janelas. Por isso, o processo de calibração foi feito adotando unicamente o padrão de uso informado na Tabela 7.

Tabela 7 - Padrão de uso adotado referente à edificação a ser calibrada.

Parâmetros	Variável adotada
Ocupação	0%
Iluminação	0%
Abertura de janelas	Fechadas. Somente as janelas dos banheiros abertas.
Abertura de portas	Portas internas abertas e externas fechadas
Equipamentos elétricos	Desligados, inclusive desconectados das tomadas

Para as frestas das janelas foi utilizado o valor 1 troca/hora, que foi convertido em m³/s que é a taxa de fluxo adotada pelo *EnergyPlus*. A fração radiante de pessoas corresponde a 0,6; adotou-se 0,72 de fração radiante para as luzes; para os equipamentos elétricos, a fração radiante é de 0,5. Estes valores, de infiltração e fração radiante, são utilizados pela maioria dos pesquisadores e, por isso, foram adotados, uma vez que existe uma dificuldade em definir precisamente esses parâmetros (PEREIRA; GHISI, 2015).

Para proceder a análise de calibração, os dados de saída solicitados nas simulações correspondem à temperatura do ar das duas zonas térmicas que foram monitoradas: 12 e 13 indicadas na Figura 11.

3.2.2 Ajustes no caso base para determinar o modelo de referência

Para que o modelo de referência representasse melhor a edificação real, realizou-se a calibração. Após o desenvolvimento do referencial teórico foi possível identificar os dados de entrada que mais influenciam em um sobrado residencial unifamiliar. Nesse sentido, cinco fatores foram modificados no modelo de referência determinado na seção anterior: geometria da cobertura, entorno, absorvância dos materiais, resistência térmica dos materiais e infiltração de ar. Os fatores foram modificados individualmente, resultando em várias etapas de simulação, sendo que a modificação era mantida nas simulações posteriores quando a alteração era considerada satisfatória.

A alteração foi considerada satisfatória quando os desvios médios entre as temperaturas e o erro quadrático foram inferiores aos valores da simulação anterior, até então considerada a mais calibrada (BATISTA; LAMBERTS, GUTHS, 2011). Também foi considerada a amplitude térmica diária e foi realizada uma análise de correlação entre a temperatura horária do ar simulada e monitorada. As Equações 1 e 2 representam os procedimentos para determinar o desvio médio entre temperaturas e o erro quadrático.

$$Dm = \left| \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)}{N} \right| \tag{1}$$

$$EQ = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2}{N} \right]^{\frac{1}{2}} \tag{2}$$

Onde:

Dm é o desvio médio (°C);

yi é a temperatura horária simulada (°C);

xi é a temperatura horária monitorada (°C);

N é o número de observações (adimensional);

EQ é o erro quadrático médio (°C).

A análise de correlação foi realizada entre a temperatura do ar monitorada e simulada. A correlação entre os elementos foi considerada forte quanto mais próximo o coeficiente de determinação (R²), que varia de 0 a 1, é de 1 e a linha de tendência é da bissetriz. Os cálculos dos coeficientes de determinação e os gráficos de correlação foram feitos a partir de planilhas eletrônicas.

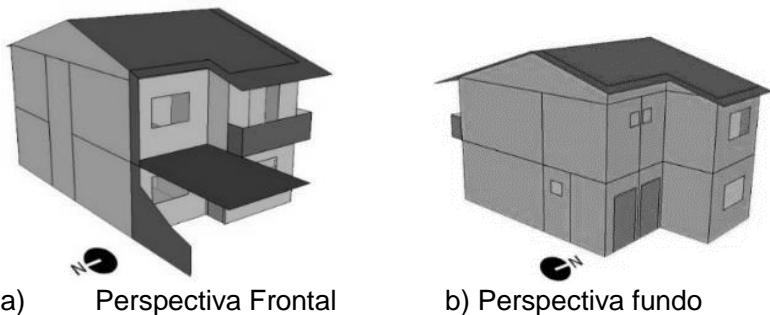
Foram utilizados três dias consecutivos representativos do período monitorado para a análise dos dados. Esses dias representativos correspondem aos dias com temperatura mais próxima da média das temperaturas médias diárias (GOULART, 1993).

3.2.2.1 Geometria da cobertura

O caso base possui uma cobertura horizontal, sem inclinação, na qual foi adotada uma laje com uma câmara de ar entre a telha cerâmica e a laje de concreto para representar a cobertura da edificação. Nesta etapa foi alterada a modelagem da

cobertura, transformando-a em uma zona térmica e admitindo as respectivas inclinações do telhado. A cumeeira é de 1,50 metros; no limite da parede externa da edificação a altura equivale a aproximadamente 15 centímetros. Assim, a partir da altura do telhado foi definida a inclinação da cobertura, sendo que a maior altura do telhado corresponde ao eixo central que divide os dois lances da escada. O modelo utilizado nesta etapa está ilustrado na Figura 13.

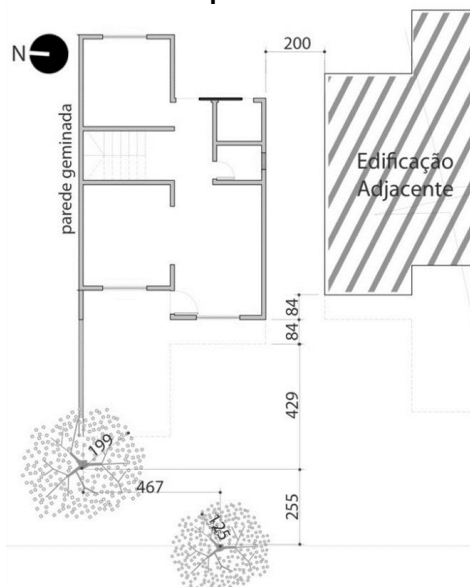
Figura 13 – Perspectiva volumétrica com nova geometria da cobertura



3.2.2.2 Entorno

Existem alguns objetos do entorno que sombreiam a edificação e que podem influenciar na carga térmica interna da edificação. Deste modo, faz-se necessário modelar as vegetações de grande porte e a residência próxima para a calibração do modelo. O entorno e as distâncias dos objetos que causam sombreamento na edificação monitorada estão indicados na Figura 14.

Figura 14 – Planta baixa do pavimento térreo com o entorno.



*Nota: As cotas indicadas na planta estão em centímetros.

3.2.2.3 Infiltração de ar

A infiltração de ar é um parâmetro difícil de medir e, por isso, os pesquisadores costumam adotar um valor padrão de 1 troca/hora, que foi o valor utilizado no caso base. Porém, dependendo das frestas da edificação esse valor pode ser muito inferior ou superior. Considerando que as janelas dos quartos são do tipo veneziana, optou-se por trocar a infiltração de 1 troca/hora para 1,5 trocas/hora em todos os quartos, pois segundo Tommerup, Rose e Svendsen (2007) é um valor adequado para ambientes que não possuem boa vedação das portas e janelas.

3.2.2.4 Propriedades térmicas dos materiais

Os valores das propriedades térmicas utilizados no caso base estão indicados na Tabela 8 e foram obtidos da NBR 15.220, a qual informa que se trata de valores indicativos, admitindo variações para mais ou para menos. Optou-se pela variação da resistência térmica em 15% para mais e para menos, acarretando

em duas simulações na primeira etapa. Os valores de resistência térmica utilizados na calibração estão indicados na Tabela 8.

Tabela 8 – Valores modificados de resistência térmica.

Elemento	Resistência térmica Caso Base (m ² .K/W)	Resistência térmica + 15% (m ² .K/W)	Resistência térmica - 15% (m ² .K/W)
Argamassa	0,022	0,025	0,018
Tijolo de seis furos	0,033	0,038	0,028
Laje de concreto	0,069	0,079	0,058
Telha de barro	0,010	0,011	0,008
Porta de madeira	0,103	0,119	0,088
Piso cerâmico	0,011	0,013	0,009
Alumínio da janela	0,130	0,150	0,111

A segunda etapa envolve a modificação da absorvância solar dos materiais do envelope, pois o valor de absorvância utilizado no caso base é apenas um indicador estabelecido pela norma. Foi utilizado o espectrômetro Alta II (Figura 15) para medir a refletância dos materiais e, conseqüentemente, definir o valor da absorvância solar.

Figura 15 - Espectrômetro Alta II.



Após a medição, foram calculados os valores de refletância para cada comprimento de onda, conforme Equação 3, e devido à imprecisão do equipamento, foi adotado um erro de $\pm 0,10$ no valor de refletância (PEREIRA *et al.*, 2015). Portanto, nesta etapa foram avaliados três valores de absorvância para cada material, com erros iguais a 0, +0,1 e -0,1. A fim de reduzir os erros de medição, foram realizadas três medições para cada comprimento de onda e amostra, deste modo no cálculo da refletância foram utilizadas as voltagens médias obtidas nas três medições. Como amostra de referência, foi utilizado um papel

branco, dobrado, de 75g/m². O valor de absorvância foi calculado a partir do valor médio de refletância medido em cada comprimento de onda, uma vez que o somatório da radiação refletida e absorvida é igual ao total da radiação incidente. Ressalta-se que as medições foram realizadas durante a noite e as laterais do equipamento foram protegidas por um tecido preto, para evitar que a irradiação interferisse nos valores medidos.

$$\rho_{\lambda,amostra} = \left(\frac{V_{\lambda,amostra} - V_{f,amostra}}{V_{\lambda,ref} - V_{f,ref}} \right) \times \rho_{\lambda,ref} \quad (3)$$

Onde:

$\rho_{\lambda,amostra}$ é a refletância da amostra em determinado comprimento de onda (%);

$V_{\lambda,amostra}$ é a voltagem da amostra em avaliação (mV);

$V_{f,amostra}$ é a voltagem de fundo da amostra em avaliação (mV);

$V_{\lambda,ref}$ é a voltagem da amostra de referência (mV);

$V_{f,ref}$ é a voltagem de fundo da amostra de referência (mV);

$\rho_{\lambda,ref}$ é a refletância da amostra de referência (%).

3.3 DETERMINAÇÃO DOS PADRÕES DE USO SIMULADOS

Considerando que os usuários possuem comportamentos distintos, que influenciam na carga térmica de uma edificação, optou-se por aplicar formulários para determinar padrões de uso condizentes aos ambientes, os quais foram respondidos por usuários de 66 edificações do condomínio. O número de formulários aplicados foi definido em função da disponibilidade dos usuários e do tempo destinado à pesquisa.

Os formulários buscam informações a respeito do padrão de ocupação dos ambientes, padrão de uso dos equipamentos elétricos, operação das portas, operação das janelas, padrão de uso da iluminação e uso do ar-condicionado. Os formulários foram respondidos em conjunto por usuários que mais utilizam os ambientes avaliados e usuários que mais permanecem na edificação. Os formulários utilizados foram baseados no trabalho desenvolvido por Ghisi *et al.* (2015), e estão no Apêndice B deste trabalho com as alterações realizadas para esta pesquisa.

Sabe-se que existem limitações nos resultados obtidos nos formulários, uma vez que foram respondidos pelos usuários de acordo com a percepção dos mesmos. Dessa forma, as

respostas representam o comportamento dos usuários de forma geral. Os tratamentos dos dados foram baseados nos trabalhos de Rosa (2014) e Ghisi *et al.* (2015). Os padrões de uso definidos após a análise dos dados foram submetidos à simulação computacional.

Com o objetivo de viabilizar o grande número de simulações, utilizou-se a análise de *cluster*, que é uma análise estatística, para tratar os dados, que permite avaliar uma série de dados e determinar os grupos com características similares. O agrupamento dos dados possibilita utilizar um único objeto de cada grupo para representá-lo, reduzindo o número de dados e o tempo destinado à análise. Para essa análise estatística foi utilizado o programa *Statistical Package for the Social Science* (SPSS), que é utilizado mundialmente. Antes de iniciar as análises, foram retirados todos os formulários que possuem respostas com valores atípicos, para evitar que estes influenciassem no resultado. Foram considerados valores atípicos as respostas que diferem da maioria da amostra e, portanto, não são representativos.

Para identificar os valores atípicos, foi realizado o tratamento dos dados. Inicialmente, fez-se necessário padronizar as variáveis, uma vez que unidades diferentes geram impactos distintos na análise. Portanto, cada dado foi subtraído da média de cada observação e dividido pelo desvio padrão. Adotou-se a medida D^2 de *Mahalanobis*, uma técnica de análise multivariada que avalia a posição de cada observação em relação a um conjunto de variáveis, a fim de identificar os casos atípicos. A Equação 4 permite calcular a distância de *Mahalanobis*, mas neste trabalho o cálculo foi realizado pelo programa SPSS. Após determinar a distância de *Mahalanobis*, foi feita a distribuição do teste qui-quadrado para determinar a significância de cada caso. Ressalta-se que valores com probabilidade inferior a 0,001 são considerados atípicos (HAIR *et al.*, 2009).

$$D_{ab}^2 = (X_a - X_b) S^{-1} (X_a - X_b) \quad (4)$$

Onde:

D_{ab}^2 é a distância de *Mahalanobis* entre os indivíduos a e b;

X_a é o vetor de características do indivíduo a;

X_b é o vetor de características do indivíduo b;

S é a matriz de variância amostral da população.

Como as amostras possuem muitas variáveis, o grau de liberdade⁴ torna-se alto e a análise menos confiável, portanto, adotou-se a análise de *cluster* como avaliação complementar para identificar os dados atípicos da amostra. A partir de uma análise visual dos agrupamentos, foi possível identificar os dados que demoram a se juntar e os agrupamentos que possuem poucos dados, esses casos caracterizam os dados atípicos (HAIR *et al.*, 2009). A fim de verificar a anormalidade dos dados, foi preciso identificar quais as variáveis que tornaram o elemento atípico para confirmar a retirada do dado da amostra.

Eliminados os dados atípicos, procede-se a análise de *cluster* para agrupar os dados similares. Em todas as análises, foi adotada a classificação pelo método hierárquico-*cluster* aglomerativo, que permite agrupar hierarquicamente conforme a similaridade entre os objetos e determinar o número de grupos com características semelhantes. Para isso, utilizou-se a distância euclidiana quadrada para definir a medida de similaridade, pois permite ressaltar as diferenças entre os indivíduos mais dissimilares (BUSSAB; MIAZAKI; ANDRADE, 1990). Foi utilizado o método *Ward* como algoritmo de participação, uma vez que apresenta bons resultados para distâncias euclidianas e considera combinações que minimizam os resíduos associados a cada *cluster* (MINGOTI, 2005). Definidos esses parâmetros foi possível construir um dendograma⁵, que permite avaliar os níveis de similaridade de cada *cluster*, e traçar uma linha de corte para determinar o número de grupos formados e o nível de similaridade entre os grupos. A linha de corte foi traçada quando a combinação entre os grupos gerou um nível de similaridade muito superior às combinações anteriores, pois um aumento significativo no nível de similaridade mostra que grupos heterogêneos foram unidos.

Como o formulário possui muitas variáveis, a análise de *cluster* foi realizada separadamente para cada ambiente, dessa forma, divide-se em: três quartos, duas salas e cozinha. Em cada análise foram considerados: padrão de ocupação, uso dos equipamentos elétricos, uso da iluminação, operação das portas,

⁴ Corresponde ao número de observações independentes menos o número de restrições lineares ou o número de elementos da amostra menos um ($n-1$).

⁵ É um gráfico que indica o nível de similaridade na união de cada grupo e permite visualizar as etapas de agrupamentos.

operação das janelas e uso do ar-condicionado no ambiente avaliado. Com exceção do ar-condicionado, cujo uso depende da temperatura interna e da ocupação do ambiente, os demais padrões foram subdivididos em dias úteis e finais de semana, totalizando doze variáveis para cada horário e ambiente analisado.

Para determinar as rotinas de uso, os dados foram separados por dias úteis e finais de semana. A variável adotada para determinar a rotina de ocupação é o número absoluto de habitantes que ocupa o ambiente em determinado horário.

Para determinar o padrão de abertura de janelas dos quartos, que possui uma das folhas da janela em vidro e duas em alumínio, utilizaram-se porcentagens de 0% para janela fechada, 50% para janela entreaberta, e 100% para janela aberta. Para as demais janelas, correspondentes à cozinha e às salas, que possuem as duas folhas da janela em vidro, utilizaram-se as porcentagens de 0% para janela fechada, 25% para janela entreaberta, e 50% para janela aberta. Destaca-se que, nesse último caso, 50% corresponde à abertura máxima, uma vez que a área máxima de abertura é a metade da área da janela. Ressalta-se que as janelas dos ambientes avaliados diferem na área de abertura, sendo que as salas; cozinha; e os quartos 1 e 3 possuem 0,9m² enquanto o quarto 2 possui 2m².

Para determinar o padrão de abertura das portas, utilizaram-se as porcentagens de 0% para porta fechada e 100% para porta aberta. Destaca-se que em todos os ambientes das residências as portas possuem as mesmas dimensões e material, com exceção da porta da varanda do quarto 2 que possui o mesmo material das janelas dos quartos.

Segundo Ghisi *et al.* (2015), inserir os equipamentos individualmente no programa de simulação é inviável e não contribui para a precisão, uma vez que um modelo muito detalhado pode aumentar a probabilidade de erros. Portanto, todos os equipamentos elétricos de um mesmo ambiente foram agrupados para criar uma rotina média representativa. Para obter a rotina, foi adotada a potência total dos equipamentos utilizados em um determinado horário de cada ambiente da residência. Para determinar a potência dos equipamentos, foi adotada a potência nominal da tabela de eficiência energética do INMETRO (2016) e, para isso, foram levantados o tipo, a marca e o modelo dos equipamentos. Para definir a potência, também foram obtidas a

velocidade comumente utilizada nos ventiladores e a capacidade de refrigeração dos equipamentos de ar-condicionado. Os equipamentos que não possuem valores de potência tabelados pelo INMETRO (2016), como computadores, foram determinados pelos próprios moradores, quando possível, ou pelo fabricante. Ressalta-se que a geladeira funciona durante 5 horas ao dia. Dessa forma, a potência nominal do equipamento foi multiplicada por 5 e dividida por 24 e, assim, tem-se a potência média para cada horário do dia.

Excepcionalmente para o aparelho de ar-condicionado, foi criado um padrão de uso individual, uma vez que o uso depende da ocupação do ambiente e da temperatura interna. A variável adotada para estabelecer a rotina de uso foi o valor da potência do equipamento.

Foi levantado o tipo, a marca e a potência das lâmpadas para determinar o padrão de uso de iluminação. A variável utilizada para determinar a rotina de iluminação foi o valor da potência da lâmpada.

Para a realização das análises estatísticas, foram inseridos os valores horários referentes a cada padrão de uso no programa *Statistical Package for the Social Science*, como na Tabela 9. Os espaços em branco na Tabela 9 correspondem aos valores de ocupação, potência dos equipamentos, potência das lâmpadas, taxas de abertura das portas e janelas e a potência do equipamento de ar-condicionado. Somente para o aparelho de ar-condicionado não foram obtidas respostas horárias, uma vez que o uso do equipamento não possui uma frequência preestabelecida.

Tabela 9 - Modelo de como foram inseridos os valores no programa.

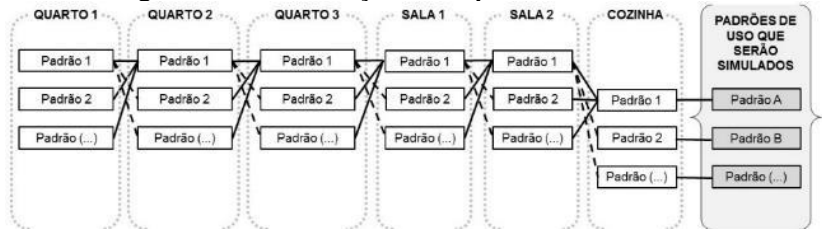
Formulário	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	(Continuação)	24h
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
(..)																	

No tratamento dos dados, foram consideradas as respostas relativas a todas as variáveis de maneira associada, ou seja, o agrupamento foi realizado em relação à similaridade das respostas obtidas nas doze variáveis. Ressalta-se que as doze variáveis correspondem ao padrão de ocupação, operação das portas, operação das janelas, uso dos equipamentos elétricos, iluminação e uso do ar-condicionado, sendo que os cinco primeiros padrões se subdividem em dias úteis e finais de semana.

Após determinar os *clusters* referentes aos seis ambientes analisados, foram definidos os padrões representativos de cada agrupamento. O padrão representativo possui as características que mais se aproximam da média do grupo analisado e, para isso, foi necessário calcular as médias do agrupamento e de cada objeto do grupo.

Por fim, após determinar os padrões representativos referentes aos grupos dos seis ambientes analisados foram determinadas as combinações entre os padrões para estabelecer os padrões de uso adotados nas simulações, como mostra a Figura 16. Foram simulados todos os padrões encontrados para cada ambiente, mas esses padrões sempre estarão combinados com os padrões 1 dos outros ambientes nas simulações.

Figura 16 - Combinações dos padrões encontrados.



3.4 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Após a calibração, tem-se um modelo mais próximo da edificação real, assim, os fatores de geometria da cobertura, absorvância dos materiais, resistência térmica dos materiais, infiltração de ar e entorno foram definidos para criar o modelo de referência. Para os demais parâmetros, foram consideradas as mesmas características determinadas no caso base.

Obtido o modelo de referência, procedeu-se à variação do padrão de uso e da orientação da edificação em relação à orientação norte para, assim, encontrar valores de temperatura referentes às oito principais orientações (0°N, 45°NE, 90°L, 135°SE, 180°S, 225°SO, 270°O e 315°NO) e associados aos diferentes comportamentos dos usuários. Foi utilizado o programa *EnergyPlus* versão 8.4 para proceder as simulações.

O arquivo climático adotado nas análises finais de simulação é o EPW (*Energyplus Weather Data*) de Goiânia. O modelo de referência adotou a cobertura com a mesma geometria estabelecida no caso base, ou seja, sem inclinação do telhado e considerando uma câmara de ar com resistência térmica de 0,21m²K/W. As propriedades dos materiais adotadas no modelo de referência estão indicadas na Tabela 10.

Tabela 10 – Propriedades dos materiais do modelo de referência

Elemento	Absortância	Resistência térmica (m ² .K/W)
Argamassa	-	0,025
Tijolo de seis furos	-	0,038
Laje de concreto	-	0,079
Telha de barro	0,50	0,011
Porta de madeira	0,40	0,119
Piso cerâmico	-	0,013
Alumínio da esquadria	0,76	0,15
Pintura	0,05	-

O valor referente à infiltração de ar utilizado na simulação foi de 1 troca/hora, que correspondeu ao valor mais adequado no processo de calibração. O entorno foi considerado no modelo de referência, pois influencia significativamente nos valores de temperatura interna da edificação.

Nos casos em que os usuários utilizam o aparelho de ar-condicionado, foi adotado um *setpoint* de 24°C para resfriamento, que corresponde ao valor mais utilizado em literatura para refrigeração de ambientes (BRANDALISE *et al.*, 2014; MIZGIER; PENSO, 2016). Destaca-se que o aparelho era ligado somente quando havia ocupantes dentro do ambiente e quando as portas e janelas estavam fechadas. Foi utilizado o objeto *HVACTemplate:Zone:PTAC* para simular o sistema de ar-condicionado, que permite reproduzir o funcionamento do ar-

condicionado tipo *Split*. A Tabela 11 indica os parâmetros utilizados na modelagem do sistema de ar-condicionado.

Tabela 11 – Parâmetros adotados na modelagem do sistema de ar-condicionado.

Parâmetro	Variável adotada
Taxa de fluxo de ar por pessoa	0,0075m ³ /s
Modo de operação do ventilador	Contínuo
Eficiência do motor do ventilador	0,8
Capacidade de refrigeração	Auto dimensionamento
COP (W/W)	Variável, conforme dados adquiridos nos formulários
Tipo de bobina	Elétrica

Para o modelo de referência, existe o comportamento do usuário e, por isso, é necessário estabelecer os valores de atividade metabólica para cada zona da edificação. Os valores de metabolismo foram padronizados para todas as simulações e são apresentados na Tabela 12.

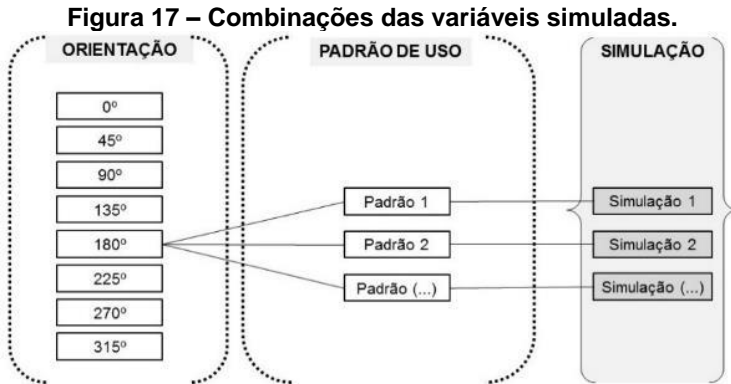
Tabela 12 – Valores de metabolismo adotados.

Ambiente	Atividade	Metabolismo (W/m ²)	Calor produzido por pessoa 1,8m ² (W)
Quarto	Dormir, sentar, ler.	40 – 60*	72 - 108
Sala	Sentado.	70	126
Cozinha	Em pé, cozinhando.	95	171

*Nota: O metabolismo pode variar entre 40 e 60W/m², dependendo da atividade realizada. Sendo que 40W/m² corresponde a dormir e 60W/m² sentado, escrevendo.

Após a calibração, tem-se um modelo mais próximo da edificação real, assim, procedeu-se à variação de dois parâmetros para efetivar um dos objetivos deste trabalho. O primeiro parâmetro é referente à orientação da edificação em relação aos pontos cardeais. Com o objetivo de analisar as orientações mais conhecidas, as variações que foram simuladas correspondem a 0°N, 45°NE, 90°L, 135°SE, 180°S, 225°SO, 270°O e 315°NO. Outro parâmetro que foi variado é o padrão de uso, determinado na seção 3.3 e indicado no Apêndice C, que tem como propósito verificar se o comportamento do usuário influencia no

desempenho térmico. A Figura 17 apresenta uma das combinações que foram simuladas. Ressalta-se que foram simuladas todas as combinações dos parâmetros avaliados.



Para a realização da análise proposta, as variáveis de saída adotadas na simulação correspondem à temperatura operativa, temperatura do ar e umidade relativa do ar. As variáveis são referentes aos seis ambientes da edificação que estão sendo analisados - zonas térmicas 1, 6, 7, 8, 12 e 13 indicadas na Figura 11.

3.5 ANÁLISE DOS DADOS SIMULADOS

Para a análise dos dados simulados utilizaram-se os conceitos de horas de desconforto, graus-médio e carta bioclimática. Os dois primeiros conceitos permitem a avaliação do desempenho térmico a partir dos valores de temperatura operativa. A carta bioclimática permite a avaliação do desempenho térmico a partir dos valores de temperatura e umidade relativa do ar.

Deste modo, as variáveis requeridas nas simulações foram a temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%) para o ambiente externo; enquanto para os ambientes internos foram requeridos os valores de temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%) e temperatura operativa (°C). Ressalta-se que nos casos em que o usuário utiliza o ar-condicionado no ambiente foram

solicitados os valores de consumo energético (kWh/ano), a fim de servir de parâmetro na análise de desempenho térmico.

As análises permitem eleger a orientação com melhor desempenho térmico, quando combinada aos diferentes ambientes e padrões de uso, e o ambiente com melhor desempenho térmico, quando submetido à mesma orientação, mas diferentes padrões de uso. Ressalta-se que as orientações indicadas nas análises correspondem à orientação da fachada com abertura do ambiente analisado.

A análise dos dados foi feita de duas maneiras: considerando as 8.760 horas do ano e considerando somente os horários em que há ocupação no ambiente.

3.5.1 Graus-médio e horas de desconforto

Para comparar os resultados dos casos simulados, foram utilizados os conceitos de horas de desconforto e graus-médio, por desconforto por calor e frio. Ressalta-se que para o cálculo dos graus-médio e horas de desconforto é necessário calcular os graus-hora. Consideram-se duas temperaturas bases, sendo uma relacionada ao desconforto por calor e a outra por frio. Sabendo-se que as temperaturas bases⁶ variam de 21°C a 29°C para desconforto por calor e 19°C a 13°C para desconforto por frio, optou-se por utilizar 26°C para calor e 18°C para o frio, por corresponder aos valores mais utilizados na literatura para o cálculo dos graus-hora (SORGATO, 2009; NEGREIROS, 2010; BATISTA; LAMBERTS; GUTHS, 2011; BRAGA; SABOYA; ORDENES, 2013). O somatório dos graus-hora foi referente às 8.760 horas do ano e, em uma segunda análise, referente às horas ocupadas. Após determinar o somatório dos graus-hora por calor e frio, foram determinados os graus-médio e as horas de desconforto por calor e por frio. Ressalta-se que para essa análise foi utilizado o valor de temperatura operativa obtido nas simulações.

Por se tratar de números determinísticos, que impedem a realização de uma análise estatística, os resultados foram avaliados a partir de uma análise comparativa, levando em

⁶ Para definir o desconforto por calor, calculam-se os valores que excedem a temperatura base; ao passo que, para o desconforto por frio, calculam-se os valores abaixo da temperatura base.

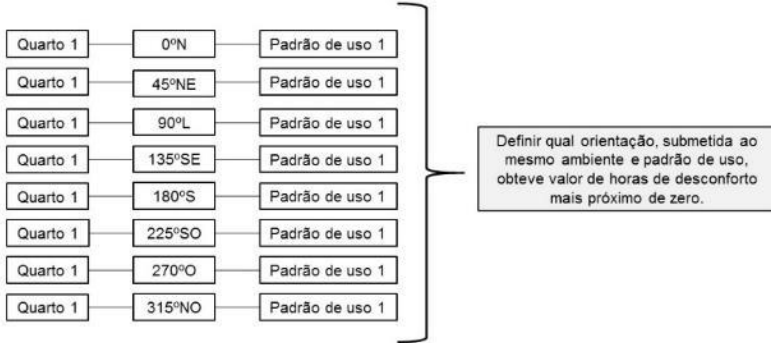
consideração o comportamento do usuário, conforme mostra a Figura 18. Com essa análise, foi possível identificar qual ambiente obteve desempenho térmico mais satisfatório. Os valores utilizados nas análises correspondem às horas de desconforto. Assim, as combinações com melhor desempenho térmico correspondem aos valores mais próximos de zero, por apresentar menor número de horas excedentes. Ressalta-se que as análises das horas de desconforto por frio e calor foram realizadas separadamente. Por fim, determinou-se a porcentagem que a orientação e o ambiente obtiveram melhor desempenho térmico em relação às horas totais de desconforto.

Figura 18 – Método para análise dos dados



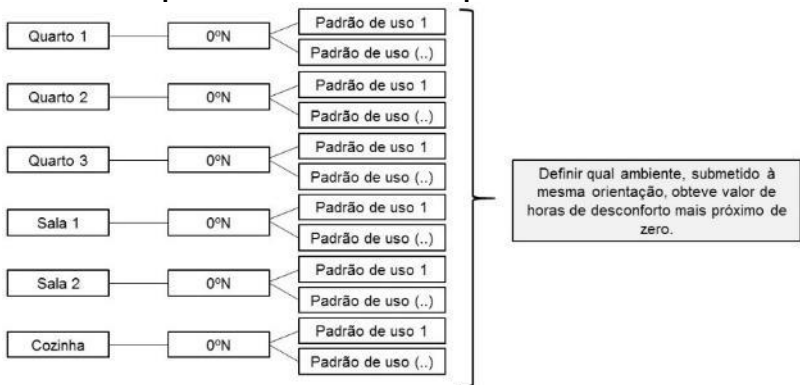
Para determinar a orientação que apresentou melhor desempenho térmico, foram comparadas as horas de desconforto das orientações submetidas ao mesmo padrão de uso, como demonstra a Figura 19. A orientação que obteve o valor de horas de desconforto mais próximo de zero foi a de melhor desempenho térmico para o padrão de uso adotado. Para definir o percentual que a orientação alcançou melhor desempenho térmico, considerando todos os ambientes e padrões de uso, foi calculada a razão entre o número de vezes que a orientação alcançou melhor resultado e o número total de comparações realizadas.

Figura 19 – Método comparativo para definir qual orientação apresentou melhor desempenho térmico.



Para determinar qual ambiente possui melhor desempenho térmico, foram comparadas as horas de desconforto dos ambientes com a mesma combinação de orientação, mas com os diferentes padrões de uso, como mostra a Figura 20. Para definir a porcentagem em relação ao total de casos avaliados que um ambiente apresentou melhor desempenho térmico, foi calculada a razão entre o número de vezes que o ambiente apresentou melhor resultado e o número total de comparações realizadas.

Figura 20 – Método comparativo para definir qual ambiente apresentou melhor desempenho térmico.



Os mesmos métodos comparativos utilizados para as horas de desconforto, que foram exemplificados nas Figuras 19 e

20, foram realizados para os graus-médio. A análise dos graus-médio foi utilizada como método complementar para verificar se as porcentagens obtidas nas análises das horas de desconforto apresentam valores significativos. Os graus-médio representam uma temperatura média da quantidade em graus que a temperatura interna excedeu a temperatura base, os quais permitem analisar as flutuações da temperatura. Do mesmo modo que ocorre na análise das horas de desconforto, as combinações com melhor desempenho térmico correspondem aos valores de graus-médio mais próximos de zero, por apresentar menor temperatura excedente. Assim como ocorre na análise de horas de desconforto, a análise dos graus-médio foi feita para o desconforto por frio e calor para, posteriormente, obter a porcentagem total de desconforto.

3.5.2 Carta Bioclimática

Utilizou-se a Carta Bioclimática para avaliar o conforto térmico e estabelecer as porcentagens de horas de conforto. Com este processo, foi possível estabelecer qual combinação resultou em melhor desempenho térmico a partir da porcentagem anual em que o ambiente esteve dentro da zona de conforto. Fez-se uso do programa computacional *Analysis Bio* (LabEEE, 2015), que permite estabelecer a porcentagem em que o ambiente esteve dentro da zona de conforto a partir dos valores horários anuais de temperatura do ar e umidade relativa do ar.

Por se tratar de um método desenvolvido por Givoni (1976), consideram-se os limites de temperatura de conforto entre 29°C e 18°C e de umidade relativa do ar entre 20 e 80%. A análise para determinar qual situação apresenta melhor desempenho térmico ocorrerá como nos métodos comparativos indicados nas Figuras 19 e 20.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados obtidos na pesquisa, divididos em três etapas. A primeira etapa envolve o processo de calibração, que compara os resultados simulados e monitorados para verificar se as variáveis de entrada modificadas representam a edificação monitorada. Para verificar se a modificação do dado de entrada era favorável, foram adotados quatro critérios de comparação: desvio médio entre temperatura simulada e monitorada, erro quadrático médio, amplitude térmica e análise de correlação entre temperatura monitorada e simulada.

Na segunda etapa são apresentados os padrões de uso que foram determinados após a análise de *cluster* e foram utilizados na simulação final.

A terceira etapa corresponde à simulação, que combinou diferentes orientações e padrões de uso da edificação. Nesta etapa, foi feita a análise dos dados de temperatura e umidade relativa do ar a partir dos conceitos de graus-médio, horas de desconforto e carta bioclimática. A análise foi feita de duas maneiras: considerando as 8.760 horas anuais e considerando apenas as horas ocupadas. Com estas simulações, foi possível atingir o objetivo geral deste trabalho.

4.1 CALIBRAÇÃO DO MODELO A SER UTILIZADO NA SIMULAÇÃO

Nesta seção, analisam-se os valores de temperatura do ar monitorados e simulados, a fim de verificar se as modificações dos dados de entrada permitem calibrar o modelo de referência. Inicialmente foram feitas as correções dos valores de temperatura monitorados a partir dos coeficientes de adição obtidos na aferição (Apêndice A), uma vez que a aferição dos equipamentos indicou uma diferença de temperatura superior ao erro do equipamento. As análises são referentes aos dois ambientes monitorados, quarto 1 e quarto 2, indicados na Figura 7, e aos três dias consecutivos representativos do período monitorado, que correspondem aos dias 28, 29 e 30 de dezembro de 2015.

A Tabela 13 apresenta os valores de absorptância estabelecidos após o processo de medição com o equipamento Alta II e os cálculos matemáticos. A Tabela 13 também indica os

valores adotados nas simulações quando foram considerados erros iguais a +0,10 e -0,10, referente ao erro do equipamento.

Tabela 13 - Valores de absorptância solar após a medição com equipamento Alta II.

Elemento	Absortância	Absortância Erro = +0,1	Absortância Erro = -0,1
Telha de barro	0,60	0,70	0,50
Porta de madeira	0,50	0,60	0,40
Pintura da superfície externa	0,15	0,25	0,05
Alumínio da janela	0,86	0,96	0,76

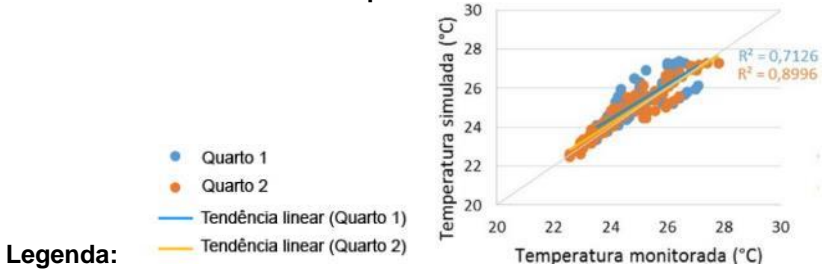
A Tabela 14 e a Figura 21 apresentam os valores de desvio médio, erro quadrático e amplitude térmica encontrados em cada etapa de simulação, que foram utilizados para avaliar se o dado de entrada seria adotado nas simulações seguintes. Quando o processo obtinha melhoria em todos os procedimentos avaliativos, ou na maioria deles, a calibração era considerada satisfatória. Portanto, os dados de entrada eram mantidos quando havia uma redução no desvio médio e no erro quadrático; o coeficiente de determinação (R^2) era mais próximo de 1; e a amplitude térmica próxima do valor medido *in loco*. Os valores de amplitude térmica indicados na Tabela 14 são referentes ao dia 30 de dezembro de 2015. Os demais valores, desvio médio, erro quadrático e coeficiente de determinação, são referentes aos três dias consecutivos mais representativos: 28, 29 e 30 de dezembro de 2015.

Tabela 14 – Valores para comparação dos dados e verificação se a alteração é adotada nas simulações posteriores.

Caso	Caracterização dos dados de entrada	Desvio médio (°C)		Erro quadrático (°C)		Amplitude térmica (°C)		Dados de entrada mantidos
		Quarto 1	Quarto 2	Quarto 1	Quarto 2	Quarto 1	Quarto 2	
	Monitorado	-	-	-	-	0,96	1,83	-
1	Caso base	0,32	0,13	0,22	0,09	2,22	2,51	X
2	1 + Cobertura	0,39	0,26	0,18	0,10	1,89	2,26	NÃO
3	1 + Entorno	0,28	0,10	0,20	0,08	2,18	2,44	SIM
4	3 + Infiltração de 1,5 trocas/hora	0,12	0,01	0,24	0,10	2,47	2,73	NÃO
5	3 + 15% resistência térmica da envoltória	0,30	0,12	0,20	0,08	2,15	2,38	SIM
6	3 + -15% resistência térmica da envoltória	0,25	0,08	0,19	0,08	2,21	2,51	NÃO
7	5 + absorvância com erro=0 da envoltória	0,76	0,48	0,47	0,20	2,31	2,57	NÃO
8	5 + absorvância com erro = +0,1 da envoltória	1,23	0,95	0,98	0,57	2,52	2,83	NÃO
9	5 + absorvância com erro = -0,1 da envoltória	0,27	0,01	0,18	0,07	2,09	2,30	SIM

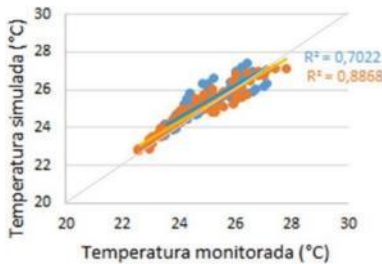
A Figura 21 apresenta a correlação entre temperaturas monitorada e simulada nos quartos 1 e 2. O coeficiente de determinação (R^2) indica o quanto o modelo é capaz de explicar os dados monitorados. Quanto mais próximo o coeficiente de determinação (R^2) é de 1 e a linha de tendência é da bissetriz, maior é a correlação entre os dados.

Figura 21 – Correlação entre temperaturas monitorada e simulada nos quartos 1 e 2.

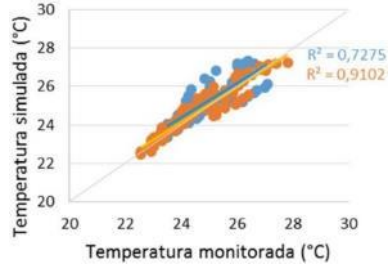


Legenda:

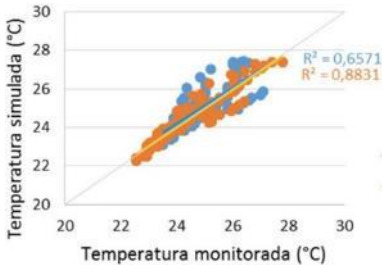
a) Caso 1, caso base.



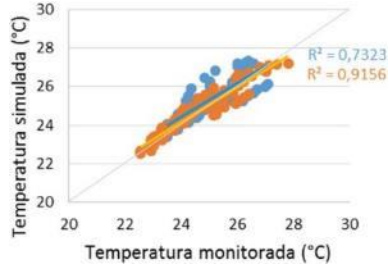
b) Caso 2, alteração da cobertura.



c) Caso 3, adição do entorno.

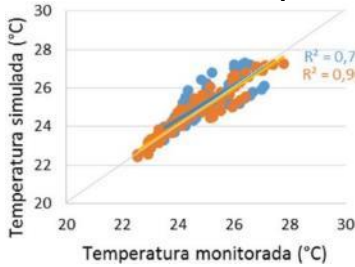


d) Caso 4, alteração da infiltração do ar.

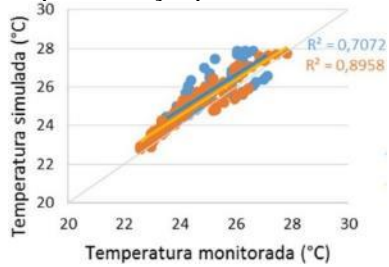


e) Caso 5, alteração da resistência térmica da envoltória em +15%.

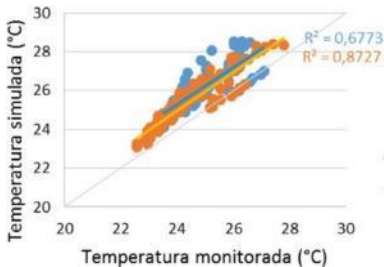
Figura 21 - Correlação entre temperaturas monitorada e simulada nos quartos 1 e 2 (continuação).



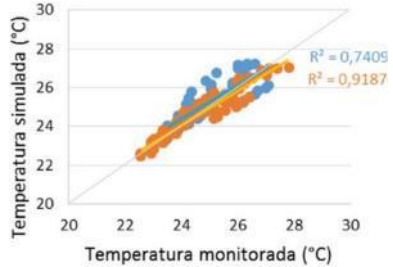
f) Caso 6, alteração da resistência térmica da envoltória em -15%



g) Caso 7, alteração da absorvância da envoltória associada a um erro igual a 0.



h) Caso 8, alteração da absorvância da envoltória associada a um erro igual a +0,10.



i) Caso 9, alteração da absorvância da envoltória associada a um erro igual a -0,10.

Três casos foram considerados satisfatórios, pois obtiveram influências significativas e positivas no processo de calibração do modelo, que são: a adição do entorno (caso 3), o aumento em 15% no valor da resistência térmica da envoltória (caso 5) e a alteração da absorvância da envoltória associada a um erro de -0,10 (caso 9). Os três casos considerados satisfatórios obtiveram o coeficiente de determinação (R^2) mais próximo de 1 e a linha de tendência ficou mais próxima da bissetriz, quando comparados com a simulação anterior mais calibrada, o que indica maior correlação entre os dados. No caso 3, referente à adição do entorno, todos os parâmetros utilizados para comparar os dados monitorados e simulados mostraram que a adição do entorno foi satisfatória no processo de calibração. Em relação à alteração do valor da resistência térmica, nota-se que cada critério de avaliação

indicou diferente caso cujo resultado simulado foi o mais próximo do medido, entretanto, o aumento em 15% foi o mais satisfatório, pois atendeu maior número de critérios de avaliação. A alteração da absorvância associada a um erro de -0,10 foi o único caso na modificação da absorvância que alcançou melhoria nos quatro parâmetros avaliados, indicando que a alteração foi significativa. É preciso destacar que, segundo a NBR 15.220 (ABNT, 2005), o valor de absorvância de 0,05 adotado para a pintura, indicada na Tabela 13, é recomendado para chapa de alumínio nova. Entretanto, como no processo de calibração essa alteração se mostrou satisfatória, o valor de absorvância foi mantido no modelo de referência.

É possível que a geometria da cobertura definida no caso 2 não represente fielmente a edificação real, uma vez que a altura da cumeeira foi estimada, sem o uso de instrumento de medição. Por esse motivo, pode-se dizer que a mudança da geometria da cobertura trouxe um resultado aquém das expectativas. Dentre os casos avaliados, a alteração do valor da infiltração de ar foi a que obteve resultados mais insatisfatórios. A Figura 21 e a Tabela 14 mostram que em todos os critérios de avaliação a alteração não foi adequada.

Nota-se que os valores de amplitude térmica entre o caso monitorado e o caso calibrado são distintos; existe uma diferença de 1,12°C para o quarto 1 e 0,47°C para o quarto 2. Os valores de desvio médio e erro quadrático, tanto para o quarto 1 quanto para o quarto 2, são considerados satisfatórios, uma vez que são mais próximos de zero. Os coeficientes de determinação indicam uma correlação forte entre os valores monitorados e simulados, principalmente para o quarto 2 cujo valor foi 0,92.

Ressalta-se que, durante o processo de monitoramento da edificação, a localização e a altura em que o equipamento foi posicionado difere do local que o *EnergyPlus* obtém os valores de temperatura no modelo simulado. Portanto, existe divergência na comparação entre os valores monitorados e simulados, o que gera incerteza no processo de calibração. Por fim, considerando que o equipamento HOB0 utilizado no monitoramento da edificação possui uma imprecisão de 0,7°C, o processo de calibração realizado foi considerado satisfatório.

4.2 DETERMINAÇÃO DOS PADRÕES DE USO

As respostas referentes às duas estações mais definidas do clima de Goiânia, verão e inverno, foram similares; portanto, os formulários são referentes ao ano todo, não sendo necessário analisar as respostas para cada estação do ano. Deste modo, as respostas utilizadas no tratamento dos dados foram respondidas entre a terceira e quinta semanas de junho de 2016, período em que foi possível aplicar os formulários. Foram coletados 66 formulários, uma vez que dependia da disponibilidade dos moradores em respondê-los. A análise estatística dos dados foi feita para cada ambiente separadamente e será discutida a seguir.

A partir dos 66 casos adquiridos através dos formulários, foi feita a análise de D^2 *Mahalanobis* para identificar as respostas atípicas. A análise foi feita considerando os cinco comportamentos levantados: ocupação, abertura de portas, abertura de janelas, utilização de equipamentos eletrônicos, iluminação e uso do ar-condicionado. Para todos os comportamentos, com exceção do ar-condicionado, foram consideradas as respostas relativas ao dia da semana e aos finais de semana, constituindo em dez comportamentos para cada hora do dia, totalizando 240 variáveis. Para o ar-condicionado foi considerada a potência do equipamento, uma vez que a utilização do equipamento não depende do horário, mas da temperatura interna e da ocupação do ambiente. Portanto, no total, a amostra possui 241 variáveis.

Como exemplo, a Tabela 15 indica os valores de D^2 de *Mahalanobis* em ordem crescente e a probabilidade associada à distância de *Mahalanobis* para o quarto 1. Os formulários que apresentaram a probabilidade de D^2 inferior a 0,001 são considerados atípicos e, por isso, foram descartados da amostra.

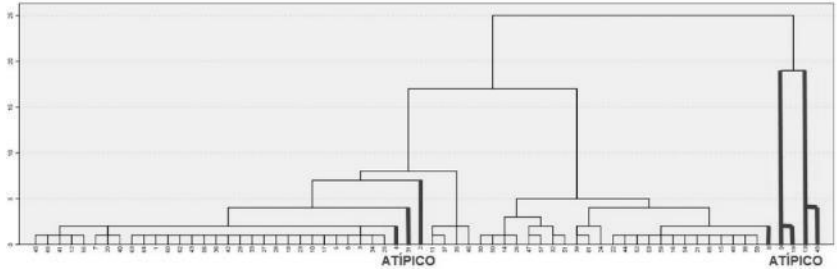
Tabela 15 – Análise de D² de *Mahalanobis* para identificação dos dados atípicos do quarto 1.

Código do formulário	D² de <i>Mahalanobis</i>	Grau de liberdade	Probabilidade
64	2,15	240	1
63	2,15	240	1
60	2,15	240	1
56	2,15	240	1
(etapas intermediárias)			
45	25,14	240	1
55	31,52	240	1
12	31,52	240	1
34	38,52	240	1
41	38,52	240	1
52	42,70	240	1
30	42,70	240	1
48	42,70	240	1
22	64,02	240	1
(etapas intermediárias)			
51	64,01	240	1
47	64,01	240	1

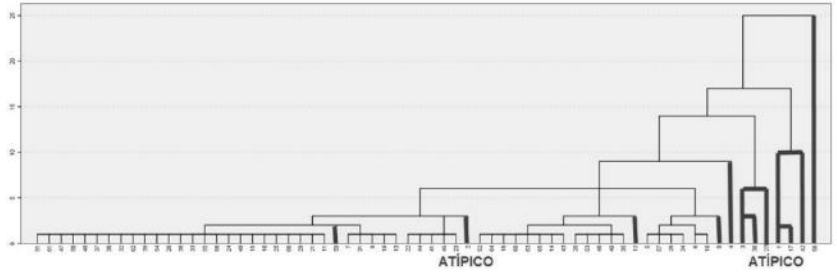
Como o grau de liberdade adotado na análise possui um valor muito alto, devido ao alto número de variáveis da amostra, há maior informação a respeito da população e, conseqüentemente, um posicionamento mais conservador na identificação dos dados atípicos. Nesse sentido, para os seis ambientes analisados, não foi possível identificar os valores atípicos pelo cálculo da distância de *Mahalanobis*. Em todos os casos avaliados, a maior distância de *Mahalanobis* encontrada foi de 64,01, que para o grau de liberdade adotado corresponde a uma probabilidade igual a 1, logo, não atípico.

Pelo cálculo da distância de *Mahalanobis*, foi constatado que não havia dados atípicos, por isso, como avaliação complementar, foi utilizada a análise de *cluster* para identificar os dados atípicos. A Figura 22 apresenta os dendogramas gerados pelo programa SPSS, que mostra graficamente o agrupamento dos dados e o nível de similaridade entre os grupos formados. As linhas em negrito correspondem aos dados identificados como atípicos, que foram determinados visualmente, devido ao agrupamento de um número muito pequeno de dados ou em função da demora na junção dos objetos.

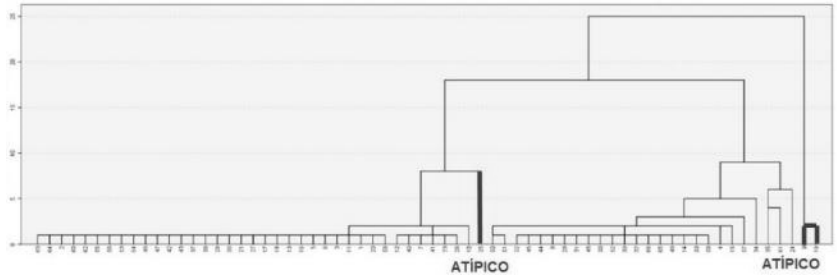
Figura 22 – Dendograma para identificar dados atípicos.



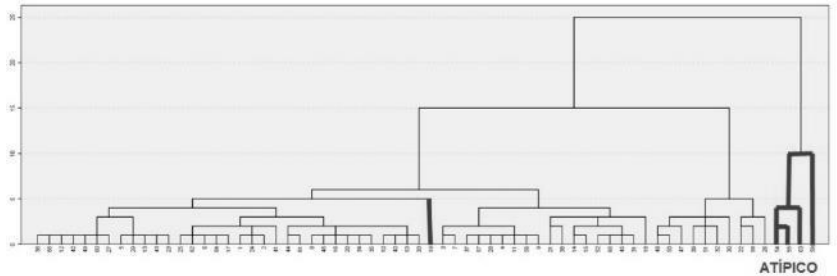
a) Quarto 1



b) Quarto 2

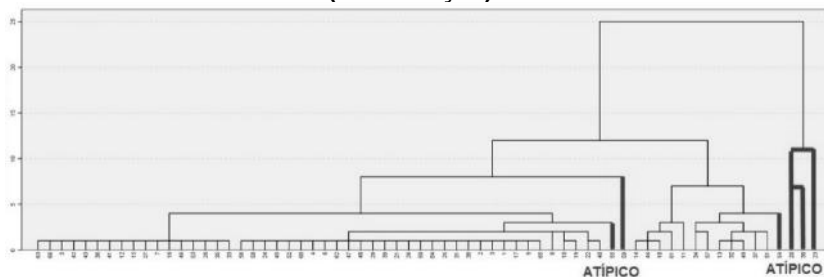


c) Quarto 3

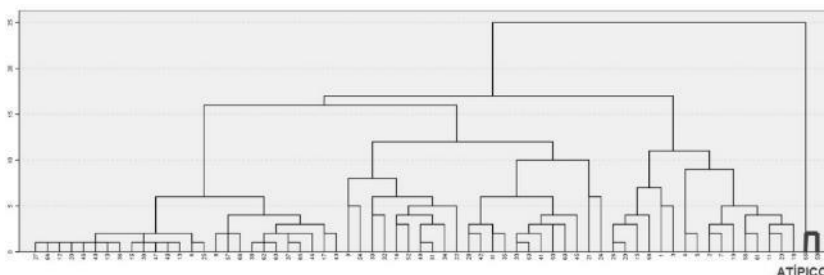


d) Sala 1

Figura 22 – Dendograma para identificar dados atípicos (continuação).



e) Sala 2



f) Cozinha

Após a identificação visual, fez-se necessário detectar as variáveis que tornaram o dado atípico, a fim de comprovar o comportamento anormal. A Tabela 16 apresenta todos os dados atípicos das amostras e indica quais foram as variáveis que tornaram o dado incomum. Ressalta-se que os objetos que representaram uma pequena porcentagem da amostra foram eliminados para não influenciar nos resultados das análises seguintes.

Tabela 16 – Análise para confirmar se os dados são atípicos.

Objeto	Identificação da variável que tornou o dado atípico	Atípico
Quarto 1		
2	Equipamentos elétricos	Sim
4	Equipamentos elétricos	Sim
8	Operação das portas e janelas	Sim
9	Iluminação com potência alta acesa durante a noite	Sim

Tabela 16 - Análise para confirmar se os dados são atípicos (continuação).

Objeto	Identificação da variável que tornou o dado atípico	Atípico
Quarto 1		
13	Iluminação acesa no início da noite	Sim
19	Iluminação com potência alta acesa à noite	Sim
31	Equipamentos elétricos	Sim
49	Iluminação acesa no início da noite	Sim
Quarto 2		
1	Não há ocupação nos finais de semana	Sim
2	Operação das portas	Sim
3	Ocupação; operação das janelas final de semana	Sim
4	Equipamentos elétricos; operação das portas	Sim
8	Operação das portas	Sim
12	Não há ocupação nos finais de semana	Sim
17	Portas sempre abertas	Sim
27	Equipamentos elétricos e iluminação	Sim
36	Não há ocupação nos finais de semana	Sim
42	Todos os parâmetros analisados	Sim
56	Ocupação; equipamentos elétricos; iluminação	Sim
59	Ocupação; uso das janelas; equipamentos elétricos	Sim
Quarto 3		
9	Iluminação acesa durante a noite	Sim
19	Iluminação acesa durante a noite	Sim
25	Equipamentos elétricos	Sim
Sala 1		
19	Ocupação	Sim
54	Iluminação	Sim
55	Iluminação	Sim
59	Iluminação	Sim
63	Iluminação	Sim
Sala 2		
20	Equipamentos elétricos	Sim
23	Equipamentos elétricos	Sim
30	Equipamentos elétricos	Sim
54	Iluminação	Sim
55	Iluminação	Sim
59	Iluminação	Sim
Cozinha		
55	Iluminação com potência alta	Sim
59	Iluminação com potência alta	Sim

Em relação ao quarto 1, oito objetos foram considerados atípicos, dois deles por utilizar iluminação com potência de 14W durante o período em que o ocupante está dormindo, e outros dois casos por utilizar a iluminação entre 18 e 22 horas. Esses quatro casos foram os únicos da amostra que utilizaram a iluminação por um período prolongado, representando apenas 6% da amostra. Outros três casos foram considerados atípicos em consequência da utilização de equipamentos com potência alta durante o período da tarde. Um caso foi considerado incomum devido à operação da porta, que fica aberta durante a noite e fechada durante o dia, e a operação da janela que fica totalmente aberta durante a noite. Todos os dados atípicos do quarto 1 representam entre 6% e 1,5% da amostra.

O quarto 2 foi o ambiente que mais obteve dados atípicos, totalizando doze casos. Os objetos 1, 12 e 36 foram os únicos da amostra que não tinham ocupação durante os finais de semana, representando apenas 5% da amostra e, por isso, foram considerados atípicos. Três casos (2, 8 e 17) foram considerados atípicos em virtude da operação das portas, sendo o caso 2 por manter a porta aberta somente quando existe ocupação no ambiente, o caso 8 por manter a porta sempre fechada e o caso 17 por manter a porta sempre aberta. O caso 27 obteve maior período de uso da iluminação e dos equipamentos elétricos do que os demais objetos da amostra. Os demais casos (3, 4, 42, 56 e 59) foram considerados atípicos em virtude da divergência de diversas variáveis, indicadas na Tabela 16, o que facilita a identificação destes casos atípicos.

Assim como ocorreu no quarto 1, dois objetos do quarto 3 foram considerados atípicos devido à iluminação com potência alta durante os horários que o ocupante dorme. Outro objeto foi considerado atípico por utilizar equipamentos elétricos com potência de 120W entre 8 e 13 horas. Dessa forma, os objetos atípicos do quarto 3 representam menos de 5% da amostra.

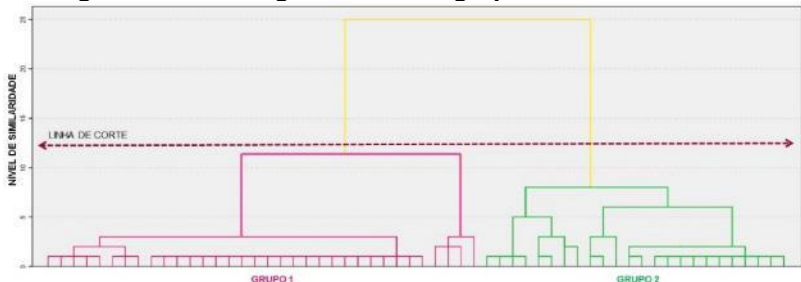
Quatro casos identificados atípicos da sala 1 ocorreram em consequência da iluminação do ambiente, que possui lâmpadas com potência entre 60 e 120W. A maioria da amostra não utiliza iluminação no ambiente e quando utiliza prevalecem potências entre 14 e 28W. O caso 19 foi considerado atípico em virtude da ocupação alta, superior a três pessoas, entre as 10 e as

19 horas. Portanto, esses cinco casos identificados como atípicos na sala 1 são pouco representativos.

Em relação à sala 2, a amostra revelou que o ambiente se comporta como uma sala de estar ou de jantar. Somente três casos, que correspondem aos objetos 20, 23 e 30, identificados como atípicos, utilizam o ambiente como sala de televisão. Portanto, esses três casos foram considerados atípicos em virtude dos equipamentos elétricos que possuem alta potência elétrica. Os objetos 54, 55 e 59 da sala 2 foram considerados atípicos devido à potência alta das lâmpadas, que totaliza 120W, enquanto a maioria da amostra varia entre 14 e 28W. Por fim, os dois casos identificados como atípicos da cozinha são devido à iluminação com potência alta, acima de 120W.

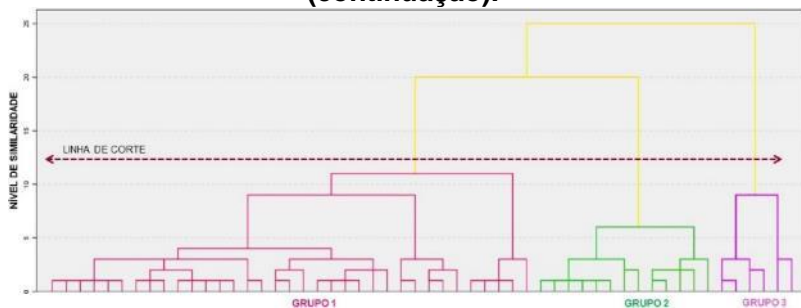
Identificados os dados atípicos, estes foram eliminados para prosseguir a análise de *cluster*, que permitiu agrupar os dados a partir de um nível de similaridade, com o objetivo de encontrar padrões de uso representativos de cada agrupamento. O processo de agrupamento ocorreu de forma hierárquica, ou seja, os objetos mais similares se uniram gradativamente até agrupar todos os dados da amostra. A Figura 23 apresenta os dendogramas gerados pelo programa SPSS, que mostram graficamente o agrupamento dos dados e o nível de similaridade entre os grupos formados dos seis casos analisados.

Figura 23 – Dendograma com o agrupamento dos dados.

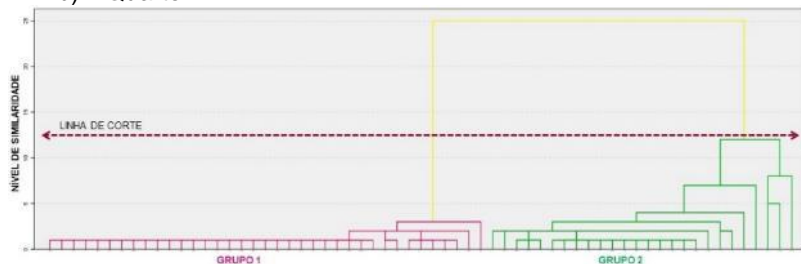


a) Quarto 1

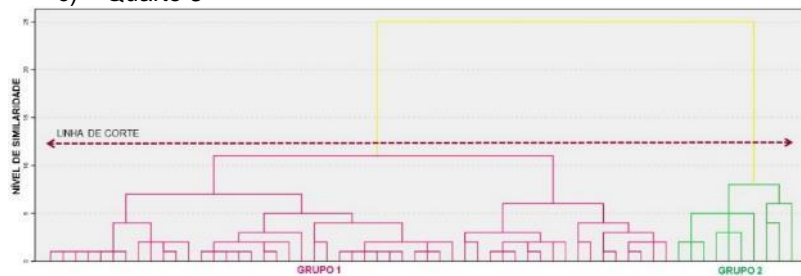
Figura 23 - Dendrograma com o agrupamento dos dados (continuação).



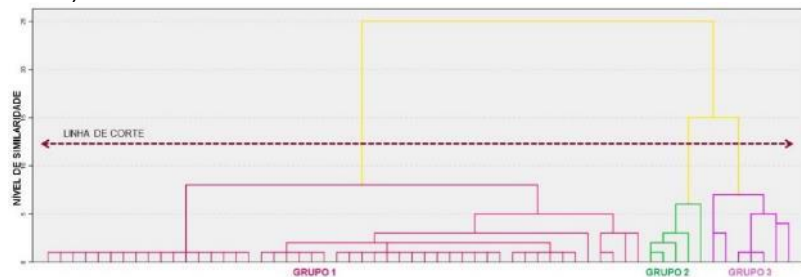
b) Quarto 2



c) Quarto 3

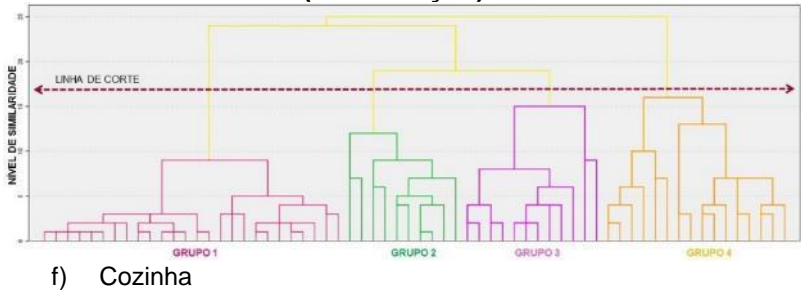


d) Sala 1



e) Sala 2

Figura 23 - Dendograma com o agrupamento dos dados (continuação).



A linha de corte, que determina o nível de similaridade e o número de grupos formados, foi traçada quando a combinação entre os grupos gerou um nível de similaridade muito superior às combinações anteriores. Quando acontece um grande aumento no nível de similaridade significa que grupos heterogêneos foram agrupados e, portanto, deve-se traçar a linha de corte, a fim de encontrar grupos homogêneos. A Figura 23 mostra que o número de agrupamentos foi diferente para cada ambiente avaliado; isso acontece em virtude da variabilidade da amostra, pois quanto maior a variabilidade, maior é o número de grupos homogêneos. Por meio do dendrograma da Figura 23 é possível identificar que os agrupamentos da amostra da cozinha ocorreram com um nível de similaridade maior que dos outros ambientes; isso acontece em virtude da variabilidade dos padrões de uso analisados.

Identificados os grupos, foi necessário estabelecer o padrão representativo de cada agrupamento. Para isso, foram calculados a média e o desvio padrão do grupo e a média de cada objeto do grupo. O objeto que obteve a média mais próxima da média do grupo foi considerado o padrão representativo do agrupamento.

A Tabela 17 indica os códigos dos objetos representativos de cada grupo, as médias dos objetos e dos grupos, e os desvios dos grupos. A segunda coluna da Tabela 17 refere-se ao número de agrupamentos formados em cada ambiente avaliado. No quarto 1, por exemplo, foram obtidos dois padrões de uso, 1 e 2. A terceira coluna indica o objeto do grupo que possui a média mais próxima da média do grupo e, por isso, foi selecionado como padrão de referência. A última coluna da Tabela 17 apresenta o desvio padrão do grupo, uma medida que indica a variabilidade

dos dados dentro do grupo. A sala 2, por exemplo, possui grupos com pouca variabilidade dos dados quando comparada aos demais ambientes, e as médias dos padrões de referência são próximas das médias dos grupos a que pertencem.

Tabela 17 – Seleção do padrão de referência de cada grupo.

Ambiente	Grupo	Código do objeto no formulário	Média do objeto	Média do grupo	Desvio padrão do grupo
Quarto 1	1	34	0,25	0,80	16,49
	2	32	1,07	1,35	26,79
Quarto 2	1	23	3,11	2,96	45,80
	2	61	3,48	3,39	50,26
	3	2	4,65	4,71	40,83
Quarto 3	1	20	0,24	0,46	13,28
	2	61	2,22	2,40	37,48
Sala 1	1	53	7,78	7,87	37,82
	2	22	5,67	6,16	29,08
Sala 2	1	62	0,78	0,70	3,11
	2	61	0,85	0,57	2,86
	3	13	0,71	0,72	2,69
Cozinha	1	40	10,26	10,70	38,80
	2	14	12,91	13,90	67,87
	3	41	11,82	10,01	37,03
	4	11	12,41	13,63	41,57

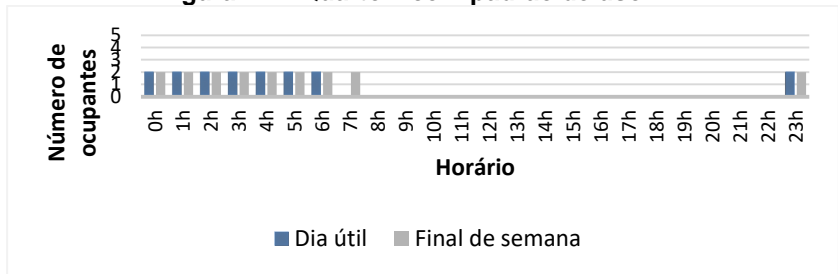
Todos os padrões de referência indicados na Tabela 17 pertencem aos primeiros agrupamentos realizados em cada amostra. Isso comprova que os objetos eleitos correspondem aos objetos mais similares e representativos do grupo, uma vez que os grupos unitários são formados nos primeiros agrupamentos da esquerda para a direita do dendograma.

Os valores de desvio padrão dos grupos indicam a dispersão da amostra, sugerindo que a cozinha possui heterogeneidade muito maior que a sala 2 e isso ocorre principalmente em função dos equipamentos elétricos, pois a cozinha possui equipamentos com potência elétrica mais elevada.

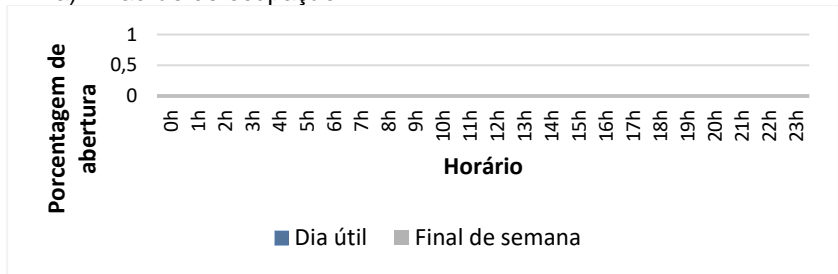
A Figura 24 apresenta o padrão de uso 1 do quarto 2. Nesse caso, existem dois usuários que ocupam o ambiente e o utilizam como dormitório. A ocupação do quarto varia em relação ao dia da semana, de tal modo que os dois ocupantes permanecem uma hora a mais no ambiente aos finais de semana,

em comparação aos dias úteis. As janelas ficam sempre fechadas, independente do horário ou dia da semana, enquanto as portas ficam fechadas nos períodos em que os usuários estão dentro do ambiente e abertas quando não há ocupantes. Os usuários não utilizam nenhum tipo de equipamento elétrico no ambiente, como televisores e ventiladores, por isso o padrão de uso de equipamentos é nulo. Embora exista iluminação no ambiente, a sua utilização é rápida, inferior a 1 minuto por noite, dessa forma, por ser um período de uso pouco representativo, levando em consideração a potência da lâmpada, o padrão de uso da iluminação foi considerado nulo.

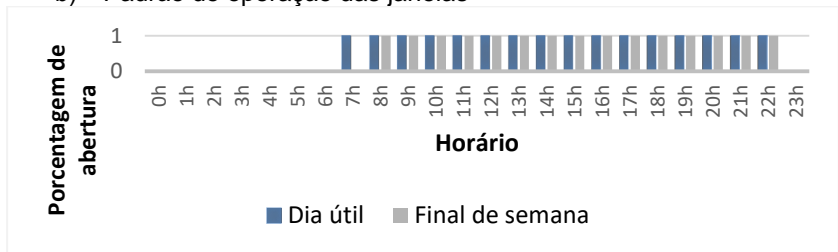
Figura 24 – Quarto 2 com padrão de uso 1.



a) Padrão de ocupação

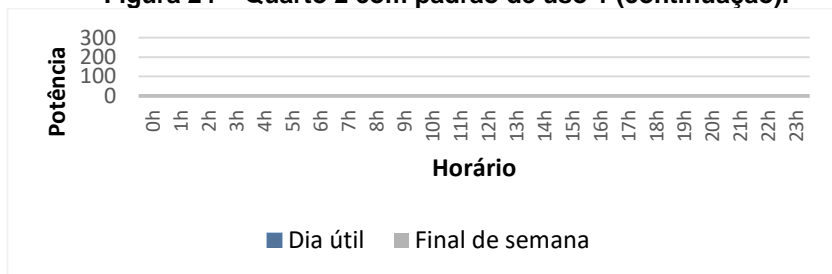


b) Padrão de operação das janelas

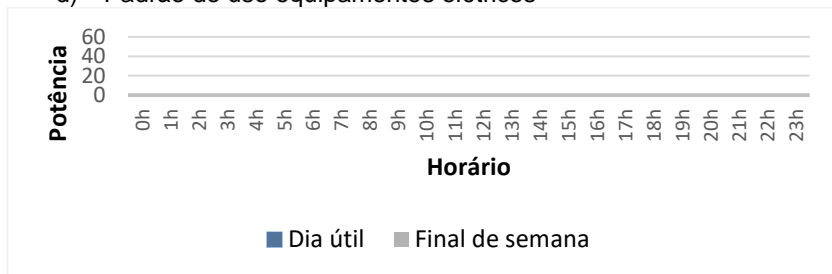


c) Padrão de operação das portas

Figura 24 – Quarto 2 com padrão de uso 1 (continuação).



d) Padrão de uso equipamentos elétricos

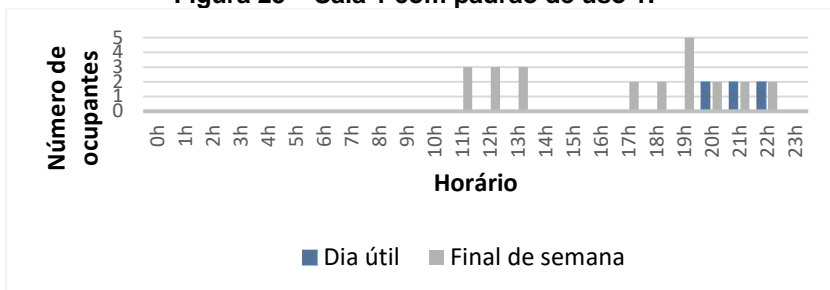


e) Padrão de uso iluminação

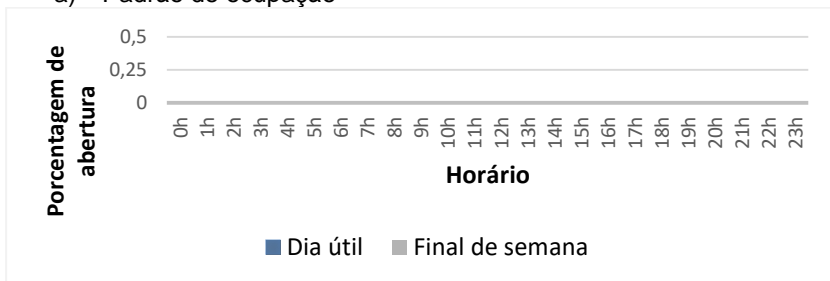
Ressalta-se que todos os padrões de uso representativos do quarto 2 possuem ar-condicionado do tipo Split e coeficiente de performance da serpentina (COP) equivalente a 3,5W/W. Os usuários do quarto 2 utilizam apenas o sistema de refrigeração, portanto o sistema de aquecimento não foi considerado nas análises. Os padrões de uso representativos dos demais ambientes, quarto 1, quarto 3, sala 1, sala 2 e cozinha, não possuem ar-condicionado.

A Figura 25 apresenta o padrão de uso 1 da sala 1. O número máximo de ocupantes é de cinco pessoas e os usuários ocupam o ambiente de modo distinto durante o dia. Em dia útil, dois usuários ocupam o ambiente entre 20 e 22horas, enquanto no final de semana há três ocupantes entre 11 e 13horas, dois entre 17 e 18horas, cinco às 19 horas e dois entre 20 e 22horas. As janelas permanecem fechadas durante todo o dia e a porta fica sempre aberta. Ressalta-se que a televisão, que é sempre ligada quando há ocupantes no ambiente, é o único equipamento elétrico da sala. Em dia útil os usuários utilizam a iluminação de 14Watts entre 20 e 22horas, enquanto no final de semana é entre 18 e 22horas.

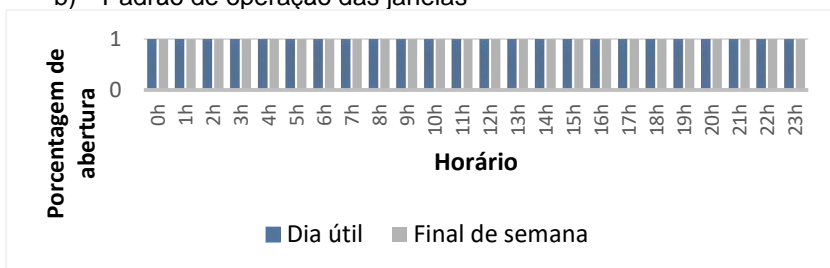
Figura 25 – Sala 1 com padrão de uso 1.



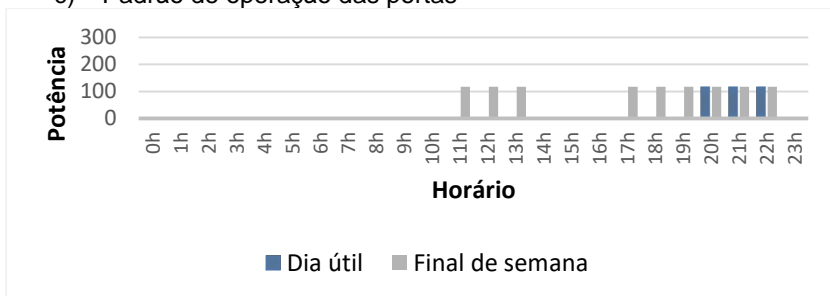
a) Padrão de ocupação



b) Padrão de operação das janelas

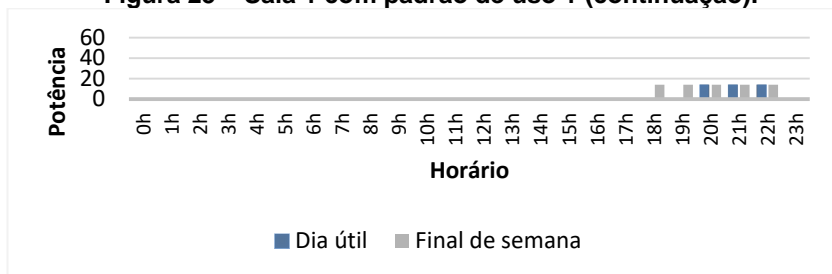


c) Padrão de operação das portas



d) Padrão de uso equipamentos elétricos

Figura 25 – Sala 1 com padrão de uso 1 (continuação).



e) Padrão de uso iluminação

O Apêndice C apresenta os demais padrões de uso representativos dos seis ambientes. Os padrões de uso representativos identificados em cada ambiente comprovam a heterogeneidade dos grupos, uma vez que possuem comportamentos distintos. A ocupação, operação das janelas e o uso de equipamentos elétricos são as variáveis que mais diferem nos padrões de uso encontrados. Alguns padrões de uso obtiveram respostas similares em relação a algumas variáveis, como a operação de portas das salas; mas de fato não existe variabilidade dessa variável na amostra, o que justifica os padrões de uso com comportamentos similares.

4.3 ANÁLISE DOS DADOS E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO, CONSIDERANDO AS HORAS ANUAIS

Adotou-se o modelo computacional calibrado para a simulação de desempenho térmico, que combinou diferentes comportamentos do usuário e orientação solar. Cada comportamento do usuário foi combinado com diferentes orientações da edificação. Assim foram considerados dezesseis comportamentos, identificados nas análises de *cluster*, e oito orientações (0°N, 45°NE, 90°L, 135°SE, 180°S, 225°SO, 270°O e 315°NO) totalizando 128 simulações para os seis ambientes: quarto 1, quarto 2, quarto 3, sala 1, sala 2 e cozinha.

Com a utilização do programa *EnergyPlus*, foram simuladas as combinações, a fim de obter os valores de temperatura operativa, temperatura do ar e umidade relativa do ar. Com isso, foi possível analisar o desempenho térmico utilizando os conceitos de graus-médio, horas de desconforto e carta

bioclimática, para obter as porcentagens de conforto e desconforto anuais.

Todos os padrões de uso encontrados para cada ambiente foram simulados. Esses padrões de uso foram combinados com os padrões de uso 1 dos outros ambientes nas simulações. A escolha do padrão de uso 1 deu-se por pertencer ao grupo 1, que faz parte dos primeiros agrupamentos realizados, logo possui maior similaridade dos dados, uma vez que os agrupamentos unitários ocorrem nas primeiras etapas da esquerda para a direita do dendograma.

Destaca-se que as orientações indicadas nas análises correspondem à orientação da fachada com abertura do ambiente analisado. Observa-se que as aberturas da cozinha e do quarto 3 estão direcionadas no sentido oposto dos demais ambientes e, por isso, quando esses dois ambientes estão orientados a norte os outros ambientes estão orientados à sul.

Ressalta-se que para o cálculo dos graus-médio e horas de desconforto foram consideradas as temperaturas bases de 26°C para o calor e 18°C para o frio. A carta bioclimática considera que os limites de temperatura de conforto estão entre 29°C e 18°C e de umidade relativa do ar entre 20% e 80%.

A Figura 26 apresenta a carta bioclimática da cidade de Goiânia, que foi criada a partir da temperatura e umidade relativa do ar externas obtidas no arquivo climático EPW, o qual possui dados que foram registrados pelo INMET entre 2001 e 2010. A Tabela 18 mostra as porcentagens de conforto e desconforto anual e as estratégias bioclimáticas indicadas para a cidade. Pela carta bioclimática, em 42,4% do ano há conforto térmico e 57,6% há desconforto, sendo que 39,3% corresponde ao desconforto por calor e 18,3% ao desconforto por frio. Os resultados obtidos por meio da carta bioclimática expõem que a utilização da ventilação é a melhor estratégia bioclimática para reduzir o desconforto por calor, enquanto a alta inércia térmica ou aquecimento solar é a estratégia mais eficiente para reduzir o desconforto por frio.

Pelo método dos graus-hora foram obtidas 1125 horas de desconforto por frio e 2654 por calor, totalizando 3779 horas de desconforto anual, que representa 43% de desconforto anual. Os graus-médio, que representam uma temperatura média da quantidade em graus que a temperatura interna excedeu a temperatura base, foram de 3,02°C para o frio e 3,19°C para o

calor, que indica uma temperatura mínima média de 14,80°C e máxima média de 29,19°C. Ressalta-se que, para avaliar o ambiente externo, foi utilizada a temperatura do ar nas análises dos graus-hora e da carta bioclimática.

Figura 26 – Carta bioclimática de Goiânia com os dados obtidos no arquivo climático, que foram registrados pelo INMET entre 2001 e 2010.

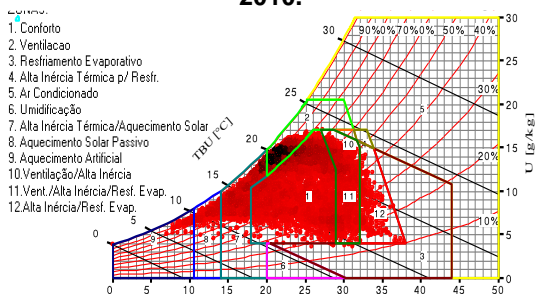


Tabela 18 – Porcentagens de conforto e desconforto térmicos e estratégias bioclimáticas para Goiânia com os dados obtidos no arquivo climático, que foram registrados pelo INMET entre 2001 e 2010.

Geral		Estratégias bioclimáticas	
Conforto térmico	42,4%		
Desconforto térmico	57,6%		
Desconforto por calor	39,3%	Ventilação	35,8%
		Alta inércia para resfriamento	15,9%
		Resfriamento evaporativo	16,2%
Desconforto por frio	18,3%	Alta inércia térmica/Aquecimento solar	14,6%
		Aquecimento solar passivo	2,9%
		Aquecimento artificial	0,8%

4.3.1 Análise dos dados simulados

Essa seção abrange os resultados obtidos para cada ambiente simulado, considerando a influência da orientação, do padrão de uso e das características particulares do ambiente que possam influenciar nos resultados. Deste modo, apresentam-se os resultados de horas de desconforto, graus-médio e carta bioclimática obtidos nas 128 simulações. Excepcionalmente para

o quarto 2, que é o único ambiente que possui ar-condicionado, é apresentado o consumo energético anual de refrigeração para cada etapa simulada do ambiente. No Apêndice D é possível verificar todos os valores de conforto e desconforto obtidos nas 128 simulações, bem como os gráficos dos graus-médio, horas de desconforto e porcentagem de desconforto pela carta bioclimática.

As Figuras 27, 28 e 29 apresentam os resultados das simulações do quarto 2 referente às horas de desconforto, graus-médio e porcentagem de desconforto pela carta bioclimática. O quarto 2 obteve uma variação de até 3% de horas de desconforto nas oito orientações solares. A porcentagem de variação é baixa, mas como o ambiente possui aparelho de ar-condicionado com termostato, que controla a temperatura interna, a influência das características da edificação e das cargas internas no desconforto térmico são menores. Para os três padrões de usos analisados, a orientação da fachada com janela a 0°N é a de melhor desempenho térmico, quando se considera os graus-médio e as horas de desconforto.

Ressalta-se que os três padrões de uso do quarto 2 obtiveram a orientação a 90°L como a mais favorável pela carta bioclimática, porém, como corresponde à orientação que resultou em maior consumo de energia pelo uso do ar-condicionado, como mostra a Figura 30, essa orientação não foi considerada. Por isso, considerou-se a orientação seguinte de melhor desempenho térmico e que também possui o menor consumo energético, que é a orientação 0°N, como mostram as Figuras 29 e 30.

Os graus-médio e as horas de desconforto indicam que o padrão de uso 3 resultou em melhor desempenho térmico em relação aos padrões de uso 1 e 2; entretanto, a Figura 30 mostra que o padrão de uso 3 resultou em maior consumo energético. Contudo, a Figura 29 mostra que, pela carta bioclimática, o padrão de uso 2 alcançou melhor desempenho que o padrão de uso 3. Observa-se que, na carta bioclimática, a diferença na porcentagem de desconforto entre os padrões de uso é de até 0,2%, enquanto pelos graus-médio e horas de desconforto é de até 1%. Portanto, o desempenho dos três padrões de uso são próximos, principalmente devido ao controle da temperatura do ar no período em que há ocupação no ambiente. Deve-se destacar que a carta bioclimática leva em consideração a umidade relativa

do ar na análise e, por isso, houve resultados divergentes entre os conceitos de análise utilizados.

As porcentagens de desconforto não mostram diferença significativa entre os casos, mas, de fato, as diferenças de desempenho térmico não são expressivas nesse método de análise. É preciso enfatizar que a carta bioclimática considera 29°C como a temperatura base de desconforto por calor e, segundo Papst e Lamberts (2002), uma temperatura base alta para o calor reduz a diferença em uma análise comparativa.

Figura 27 - Horas de desconforto e graus-médio por calor do quarto 2.

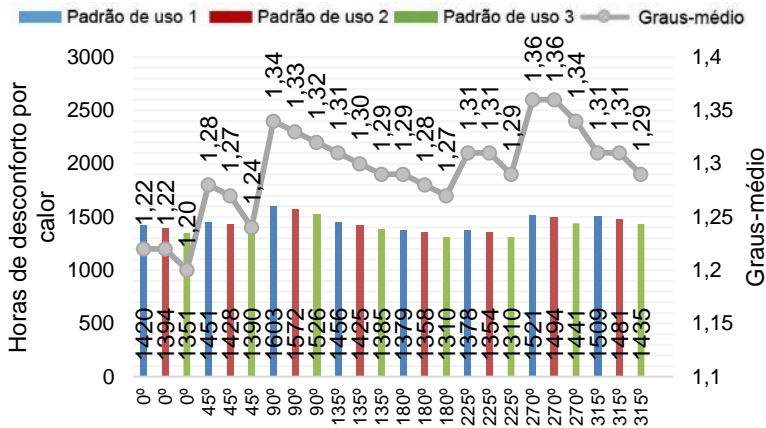


Figura 28 - Horas de desconforto e graus-médio por frio do quarto 2.

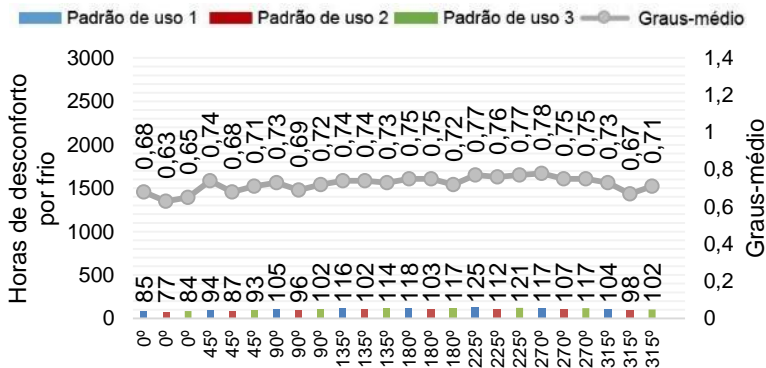
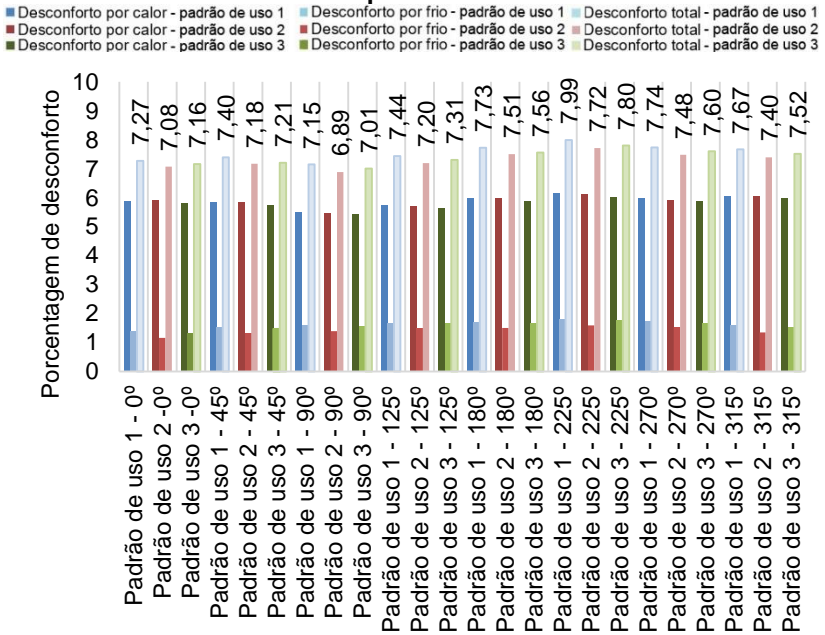
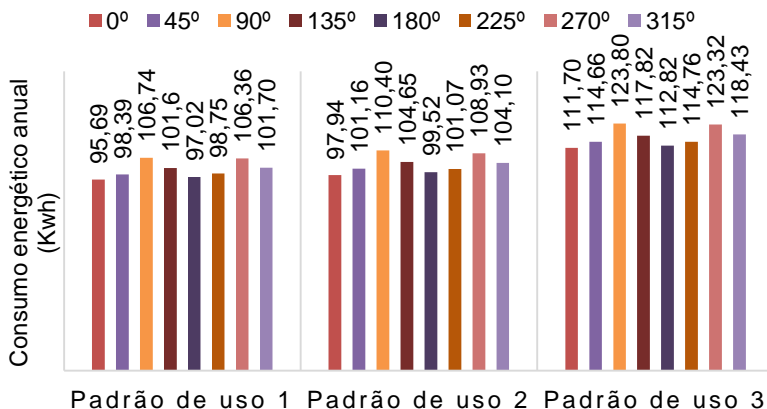


Figura 29 - Porcentagem de desconforto pela carta bioclimática do quarto 2.



A Figura 30 apresenta o consumo energético anual do ar-condicionado no quarto 2. Ao avaliar o consumo, nota-se uma diferença de até 12,10kWh ao variar a orientação. Em relação ao padrão de uso, essa diferença aumenta para até 17,06kWh. O padrão de uso exerce maior influência no consumo energético do que a orientação, pois o funcionamento do ar-condicionado depende da ocupação do usuário no ambiente e da temperatura interna. Portanto, o consumo energético do padrão de uso 3 é maior em virtude da ocupação dos usuários e do maior período de horas que as portas ficam abertas, de tal maneira que o quarto ganha calor mais rapidamente e, por conseguinte, precisa de mais energia para resfriá-lo posteriormente.

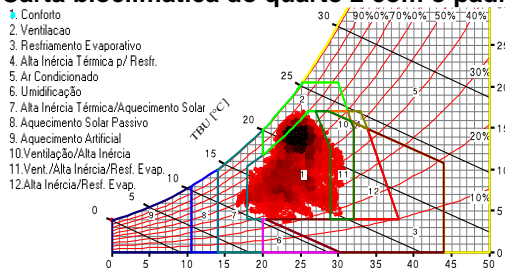
Figura 30 - Consumo energético anual do ar-condicionado no quarto 2.



A Figura 31 apresenta as cartas bioclimáticas do quarto 2 para o padrão de uso 1. A carta mostra que embora a orientação 90°L tenha ultrapassado mais o limite de conforto de temperatura do que as outras orientações, estas ultrapassam mais o limite de conforto de 80% de umidade relativa do ar e, por isso, obtiveram pior desconforto térmico.

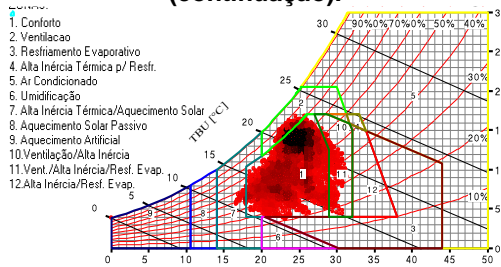
Em todos os casos avaliados, a carta bioclimática mostrou que a ventilação natural é a estratégia bioclimática que mais auxilia no desempenho térmico da edificação e que estratégias de sombreamento são capazes de melhorar mais de 80% os problemas de desconforto do ambiente.

Figura 31 – Carta bioclimática do quarto 2 com o padrão de uso 1.



a) Orientação 0°N

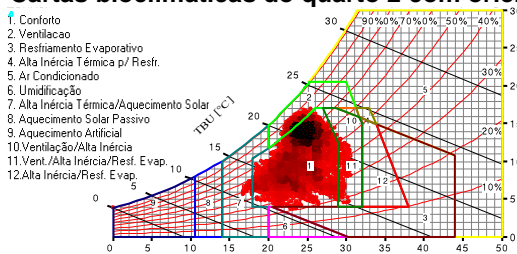
Figura 31 - Carta bioclimática do quarto 2 com o padrão de uso 1 (continuação).



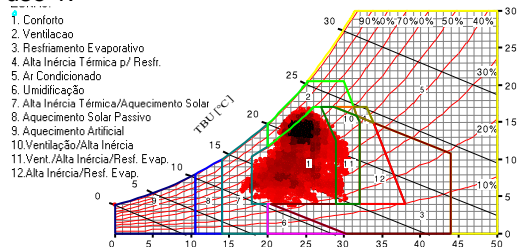
b) Orientação 90°L

Ao comparar as cartas bioclimáticas do quarto 2 quando submetido a uma mesma orientação, 0°N, mas considerando os três padrões de uso simulados para este ambiente, detectou-se menor diferença entre os casos. A Figura 32 mostra que visualmente não foi possível identificar diferenças nas cartas, e as porcentagens de conforto térmico anual variaram entre 92,7% e 92,9%, o que confirma a pouca variabilidade entre os casos analisados. Dessa forma, no quarto 2, a orientação exerceu maior influência no desempenho térmico do que o comportamento do usuário, pela carta bioclimática.

Figura 32 – Cartas bioclimáticas do quarto 2 com orientação 0°N.

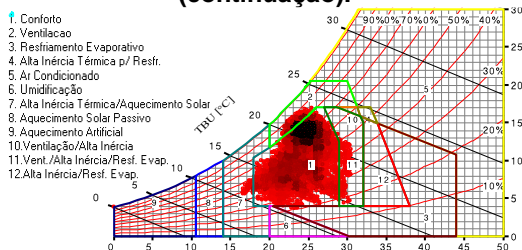


a) Padrão de uso 1.



b) Padrão de uso 2.

Figura 32 – Cartas bioclimáticas do quarto 2 com orientação 0°N (continuação).



c) Padrão de uso 3.

A seguir, apresentam-se as análises dos demais ambientes. Os resultados de graus-médio, horas de desconforto e porcentagem de desconforto obtidos por meio da carta bioclimática estão no Apêndice D e as cartas bioclimáticas estão no Apêndice E. A análise da carta bioclimática dos demais ambientes gerou resultados visuais e estratégias bioclimáticas semelhantes ao do quarto 2.

Ao simular o quarto 1 com a fachada com abertura em diferentes orientações solares, o padrão de uso 1 resultou em uma variação de até 7% nas horas de desconforto, enquanto o padrão de uso 2 resultou em uma diferença de até 4%. A diferença do comportamento do usuário nos dois padrões de uso é que o padrão de uso 1 está sempre desocupado e com a porta aberta, enquanto o padrão de uso 2 fica ocupado no período noturno e início da manhã e com as portas fechadas quando há ocupantes no ambiente. Para o padrão de uso 1, a fachada com abertura orientada a 180°S proporciona melhor desempenho térmico e quando orientada a 135°SE apresenta o pior desempenho, enquanto o padrão de uso 2 resultou em melhor desempenho quando orientado a 180°S e pior desempenho quando orientado a 90°L.

Ao analisar o quarto 3, os dois padrões de uso simulados obtiveram até 4% de horas de desconforto pelo método dos graus-hora ao variar a orientação, assim como, para os dois casos, a orientação a 270°O foi a de pior desempenho e a 0°N foi a de melhor desempenho térmico. É preciso enfatizar que o quarto 3 é um dos poucos ambientes que não possuem elementos de sombreamento na janela. A carta bioclimática indicou a orientação a 0°N como a de melhor desempenho para os dois padrões de uso

simulados. A orientação de pior desempenho para o padrão de uso 1 foi a 225°SO e, para o padrão de uso 2, a 90°L, sendo que a diferença de desconforto térmico entre o pior e melhor caso foi de 0,46% para o padrão de uso 1 e 0,96% para o padrão de uso 2. Dentre todos os 128 casos simulados, o quarto 3 com padrão de uso 2 e orientação a 90°L foi o que obteve o valor de graus-médio por calor mais elevado, 1,47°C, que significa uma temperatura média máxima de 27,47°C. Ressalta-se que o pior caso de desempenho do padrão de uso 1 do quarto 3, com orientação a 270°O, resultou em horas de desconforto total bem próximos do melhor caso de desempenho do padrão de uso 2 do quarto 3, com orientação a 0°N. Isso enfatiza a influência do comportamento do usuário no desempenho térmico, uma vez que o padrão de uso 2 permaneceu mais tempo no ambiente, utilizou os equipamentos elétricos, fechou a porta no período da noite e início da manhã e abriu as janelas durante a tarde.

A sala 1 com o padrão de uso 2 resultou em uma diferença de até 3% de horas de desconforto anual ao variar a orientação solar da fachada com abertura. Nesse caso, a orientação a 0°N foi a de melhor desempenho, pois apresentou menor número de horas em desconforto e menor temperatura média máxima, 26,99°C. Deve-se enfatizar que a sala 1 possui uma cobertura que sombreia a janela praticamente o dia todo e, por isso, a influência da orientação solar na temperatura interna do ambiente tende a ser menor. Os valores dos graus-médio são praticamente equivalentes nos padrões de uso e orientações simulados, enfatizando a pouca influência da orientação solar nesse caso. Pela carta bioclimática, a sala 1 possui porcentagem de desconforto total que varia entre 2,35 e 2,94%, considerando os dois padrões de uso simulados. Dessa forma, utilizando esse conceito na análise dos dados, não se percebem grandes mudanças de desempenho térmico em relação à variação da orientação e o padrão de uso. A baixa porcentagem no desconforto térmico total, em relação aos demais ambientes analisados, faz da sala 1 o ambiente de melhor desempenho térmico pela carta bioclimática.

Em relação aos graus-hora, a sala 2 foi o ambiente que resultou em melhor desempenho térmico, quando comparado aos ambientes com a mesma orientação e diferentes padrões de uso, atingindo entre 11 e 18% de horas de desconforto anual. Dentre

os padrões de uso simulados para os seis ambientes, o padrão de uso 1 da sala 2 é o que possui menor carga térmica interna, o que influencia nos resultados obtidos. A sala 2 possui algumas horas de desconforto por frio, mas ao avaliar o desconforto total, esse ambiente resultou em melhor desempenho térmico que os demais, ao considerar o conceito dos graus-hora. Ao analisar a carta bioclimática, a sala 2 obteve porcentagens de desconforto térmico entre 3,80 e 5,17%, ao variar a orientação e o padrão de uso. Nesse caso, em algumas orientações, o padrão de uso 1 possui pior desempenho térmico que os demais padrões de uso simulados para a sala 2, divergindo dos resultados obtidos pelos graus-hora.

Dentre os ambientes analisados, a cozinha foi o que mais sofreu impacto da variação da orientação no desempenho térmico. A variação da orientação gerou uma diferença de até 8% nas horas de desconforto, equivalente a 701 horas anuais. Dois fatores contribuíram para essa diferença: primeiro, devido à inexistência de elementos de sombreamento na janela e, segundo, em função da carga térmica interna superior à dos demais casos simulados. Os resultados das simulações da cozinha deixaram evidente a influência do comportamento do usuário no desempenho térmico. As Figuras 65 e 66 do Apêndice D mostram a diferença da porcentagem de desconforto ao variar o padrão de uso. Pela carta bioclimática, o padrão de uso 2 gerou desconforto térmico em torno de 5% maior que o padrão de uso 1, enquanto pelos graus-médio e horas de desconforto o padrão de uso 4 obteve em torno de 4% a mais de desconforto anual que o padrão de uso 1.

4.3.2 Orientação e ambiente com melhor desempenho térmico

Para definir qual orientação é a de melhor desempenho térmico, foram comparados os valores de graus-médio, horas de desconforto e carta bioclimática de um ambiente quando submetido ao mesmo padrão de uso. Para a avaliação, foi imprescindível que a orientação fosse o único parâmetro diferente em cada caso avaliado, o que totalizou dezesseis casos que possuem o mesmo padrão de uso em um mesmo ambiente e diferentes orientações. Como exemplo, um dos casos avaliados estabeleceu a orientação da fachada com abertura de melhor desempenho térmico para o quarto 1 com o padrão de uso 1. Ao

analisar os dezesseis casos, determinou-se o percentual em relação ao total de casos avaliados que cada orientação resultou em melhor desempenho térmico.

A Tabela 19 apresenta o número de vezes que cada orientação atingiu melhor desempenho térmico e a porcentagem em relação ao total de casos avaliados.

Tabela 19 - Orientação com melhor desempenho térmico, considerando horas anuais.

Orientação da fachada com abertura do ambiente	Graus-médio e horas de desconforto		Carta Bioclimática	
	Casos com melhor desempenho (%)	Casos com melhor desempenho (unid.)	Casos com melhor desempenho (%)	Casos com melhor desempenho (unid.)
0°N	50%	8	50%	8
45°NE	0%	0	0%	0
90°L	0%	0	19%	3
135°SE	0%	0	0%	0
180°S	50%	8	31%	5
225°SO	0%	0	0%	0
270°O	0%	0	0%	0
315°NO	0%	0	0%	0
Total de casos avaliados		16		

Os graus-hora e a carta bioclimática indicaram diferentes orientações como as de melhor desempenho térmico. Pelo conceito dos graus-hora, verificou-se que as orientações 0°N e 180°S são as de melhor desempenho. A carta bioclimática indicou a orientação 0°N como a orientação de melhor desempenho térmico, a qual representa 50% dos casos avaliados, em seguida tem-se a 180°S com 31% e a 90°L que representa 19% dos casos.

De modo geral, os dois conceitos consideram as orientações a 0°, norte, e a 180°, sul, as orientações de melhor desempenho térmico. Ressalta-se que os casos que obtiveram a orientação a 90°L como a mais favorável são referentes aos três padrões de uso simulados na sala 2, que pelo conceito dos graus-hora obtiveram a orientação a 0°N como a de melhor desempenho. As Figuras 76, 77 e 78, que estão no Apêndice E, apresentam as

cartas bioclimáticas dos três padrões de uso simulados para a sala 2. Nota-se que apesar da orientação 90°L ultrapassar mais o limite de temperatura de conforto do que as demais orientações, estas ultrapassam mais o limite de conforto de umidade relativa do ar do que a orientação 90°L. Portanto, no somatório da porcentagem de desconforto, a orientação a 90°L possui melhor desempenho, pois ultrapassou menos o limite de conforto por umidade do ar do que as demais orientações.

Pode-se concluir que a orientação tem influência no desempenho térmico da edificação, uma vez que se percebe variações consideráveis de até 701 horas anuais, e é praticamente unânime que as orientações norte e sul são as orientações de melhor desempenho.

Para definir o ambiente de melhor desempenho térmico, foram comparados os valores de desconforto térmico obtidos nos graus-médio, horas de desconforto e carta bioclimática. Para a análise, foram comparados diversos ambientes combinados com diversos padrões de uso, mas com a mesma orientação solar da fachada com abertura, totalizando oito casos, que correspondem às oito orientações avaliadas. Como exemplo, um dos casos foi analisar qual ambiente com a fachada com abertura orientada a norte resultou em melhor desempenho térmico, considerando todos os padrões de usos simulados. Destaca-se que o quarto 2 não foi incluído nesta análise, uma vez que o uso do ar-condicionado influencia na redução do desconforto, provocando uma situação distinta em relação aos ambientes não condicionados.

Ao analisar os oito casos, determinou-se o percentual que o ambiente foi eleito como o de melhor desempenho térmico. Com essa análise, foi possível destacar algumas características que fez o ambiente obter melhor desempenho térmico. A Tabela 20 apresenta o número de vezes que cada ambiente apresentou melhor desempenho térmico e a porcentagem em relação ao total de casos avaliados.

Os graus-médio, horas de desconforto e a carta bioclimática indicaram diferentes ambientes como o de melhor desempenho térmico. Para os graus-médio e horas de desconforto, a sala 2 foi o ambiente que resultou em melhor desempenho térmico entre todos os ambientes avaliados, enquanto pela carta bioclimática foi a sala 1. Ressalta-se que

esses dois ambientes estão em contato com o solo, possuem janelas com duas folhas de vidro, não recebem radiação direta pela cobertura e não possuem carga térmica interna alta, que são fatores que contribuem para melhorar o desempenho térmico.

Tabela 20 - Ambiente com melhor desempenho térmico, considerando horas anuais.

Ambiente	Graus-médio e horas de desconforto		Carta Bioclimática	
	Casos com melhor desempenho (%)	Casos com melhor desempenho (unid.)	Casos com melhor desempenho (%)	Casos com melhor desempenho (unid.)
Quarto 1	0%	0	0%	0
Quarto 3	0%	0	0%	0
Sala 1	0%	0	100%	8
Sala 2	100%	8	0%	0
Cozinha	0%	0	0%	0
Total de casos avaliados		8		

4.3.3 Síntese de resultados

Ao utilizar três conceitos na avaliação das condições de desempenho térmico, houve algumas divergências nos resultados. Uma das causas dessa diferença são os parâmetros distintos utilizados nas análises. Para o cálculo dos graus-médio e horas de desconforto foi utilizada a temperatura operativa, enquanto na análise bioclimática utilizaram-se a temperatura do ar associada à umidade relativa do ar. Ainda, a temperatura base para definir o desconforto por calor foi de 26°C para cálculo dos graus-médio e horas de desconforto e 29°C para a carta bioclimática.

Os resultados obtidos por meio da análise bioclimática mostraram menor diferença de desempenho térmico entre a variação da orientação e do padrão de uso. Ao variar a orientação, os resultados obtidos por meio dos graus-hora mostraram que a máxima diferença alcançada foi de 8% nas horas de desconforto anual, enquanto por meio da análise bioclimática foi de 5%.

Portanto, para o caso estudado, ao variar a orientação, a máxima diferença alcançada foi de 701 horas de desconforto anual.

De modo geral, os dois conceitos identificaram que o calor exerce maior influência nos resultados finais do desempenho térmico da edificação do que o frio, ainda que os valores de desconforto por frio para a cidade de Goiânia sejam significativos.

Todos os casos simulados mostraram que a ventilação natural é a estratégia bioclimática mais adequada para melhorar o desempenho térmico da edificação e que os elementos de sombreamento são capazes de resolver mais de 80% dos problemas de desconforto térmico. O quarto 2, que é o único ambiente que utiliza o ar-condicionado, não foi o ambiente que resultou em melhor desempenho térmico, pois características do ambiente, como maior área de abertura da janela e elementos de sombreamento pouco eficientes, podem ter influenciado no ganho de calor. É preciso ressaltar que o funcionamento do ar-condicionado dependia da temperatura interna do ambiente e da presença dos usuários no ambiente, enquanto a análise de desempenho térmico foi realizada para as 8.760 horas anuais, independente da ocupação no ambiente analisado.

Destaca-se que os três quartos que estão no andar superior foram os ambientes que atingiram maior valor de graus-médio, ou seja, possuem maior temperatura máxima média. A cozinha, que possui alta taxa de equipamentos elétricos, atingiu valores de graus-médio inferiores aos dos quartos. Dessa forma, os resultados mostram a influência da cobertura da edificação no ganho de calor e aumento da temperatura interna.

As diferenças obtidas no desempenho térmico dos casos simulados ocorreram em função do: padrão de uso, orientação, área de superfícies externas expostas, área de abertura, material das janelas, área dos ambientes e o contato com o solo ou com a cobertura. Estes foram os principais parâmetros que distinguem os ambientes analisados e são fatores importantes que influenciam nas trocas térmicas dos ambientes e conseqüentemente no desempenho térmico.

Ao avaliar os resultados, constatou-se que pelo conceito dos graus-hora, a orientação norte foi a de melhor desempenho térmico em 50% dos casos avaliados, enquanto a orientação sul representa 50% dos casos com melhor desempenho. A carta bioclimática indicou a orientação norte como a de melhor

desempenho térmico em 50% dos casos avaliados, em seguida tem-se a orientação sul com 31% e a orientação leste que representa 19% dos casos. Entretanto, observou-se que a orientação leste resultou em melhor desempenho em 19% dos casos, pois ultrapassou menos o limite de conforto por umidade relativa do ar do que as outras orientações. Contudo, Barbosa e Lamberts (2001) comprovaram que os usuários têm uma boa aceitação de conforto com umidades acima de 80% quando combinadas com valores de temperatura do ar entre 18°C e 29°C. Portanto, desconsiderando o limite de 80% de umidade, as cartas sugerem que as orientações norte e sul são as de melhor desempenho térmico.

Dessa forma, os resultados comprovam aquilo que já é difundido por pesquisadores: uma residência com aberturas orientadas a norte ou sul obtém melhor desempenho térmico do que uma residência com aberturas orientadas a leste ou oeste. Contudo, os resultados obtidos no quarto 1, mostram que a orientação de uma edificação não é suficiente para obter bom desempenho, uma vez que o comportamento do usuário influencia no desempenho térmico da edificação.

Observou-se que, dependendo do comportamento do usuário, a orientação é capaz de exercer maior ou menor influência no desempenho térmico da edificação. Os resultados obtidos no quarto 1 corroboram essa afirmativa; uma vez que, ao simular a fachada com abertura em diferentes orientações solares, o padrão de uso 1 resultou em uma diferença de até 7% nas horas de desconforto, ao passo que o padrão de uso 2 resultou em uma variação de até 4%. A diferença entre os padrões de uso é que o padrão de uso 1 representa ambientes sempre desocupados, enquanto o padrão de uso 2 representa ambientes com ocupação e uso da iluminação.

Portanto, os resultados mostram a importância da orientação da fachada com abertura, a fim de receber menor radiação solar direta, e do comportamento do usuário, em proporcionar menor carga térmica interna, para obter bom desempenho térmico.

4.4 ANÁLISE DOS DADOS E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO, CONSIDERANDO AS HORAS OCUPADAS

Esta seção discorre sobre os resultados alcançados ao analisar o ambiente quando há ocupação. Dessa forma, a sala 2 combinada ao padrão de uso 1 e o quarto 1 associado ao padrão de uso 1 não foram analisados, pois não possuem ocupação. Portanto, para analisar as horas ocupadas foram considerados 112 casos.

4.4.1 Análise dos dados simulados

No Apêndice F é possível verificar todos os valores relativos aos graus-médio, horas de desconforto e porcentagem de desconforto em relação ao total de horas ocupadas obtidos nos 112 casos analisados nesta seção. As cartas bioclimáticas estão do Apêndice G.

No quarto 1 foram analisados apenas o padrão de uso 2, visto que o padrão de uso 1 não possui ocupação. A ocupação do padrão de uso 2 se dá predominantemente entre 22 e 6 horas da manhã. Ao modificar a orientação, a diferença máxima alcançada foi de 4% nas horas de desconforto, em relação às 3.754 horas ocupadas, o equivalente a 143 horas de desconforto térmico. Pela carta bioclimática, a máxima diferença alcançada ao variar a orientação foi de 0,67%. Os resultados mostraram que a orientação sul é a de melhor desempenho térmico, pois obteve o menor número de horas de desconforto, 898 horas, e um baixo valor nos graus-médio, 1,22°C. A orientação leste foi a orientação de pior desempenho térmico e resultou em 1.041 horas de desconforto e 1,26°C de graus-médio. A carta bioclimática indicou a orientação norte como a de melhor desempenho térmico. Dentre os ambientes analisados, o quarto 1 foi o ambiente com menor porcentagem de desconforto térmico pela carta bioclimática.

Os resultados obtidos nos três padrões de uso simulados no quarto 2 mostraram valores de horas de desconforto e graus-médio semelhantes, que ocorreram em virtude do equipamento de ar-condicionado, que controla a temperatura interna quando há ocupantes no ambiente. Entretanto, a existência de horas de desconforto nos três padrões de uso indica que o ar-condicionado não está garantindo conforto térmico aos usuários. Ressalta-se

que o padrão de uso 1 representa ocupação predominante entre 23 e 7 horas, o padrão de uso 2 entre 23 e 7 horas e o padrão de uso 3 entre 22 e 6 horas. Pela carta bioclimática, ao variar a orientação, a máxima diferença alcançada no quarto 2 foi de 0,95% em relação às 3.232 horas ocupadas do padrão de uso 2. Pelos graus-horas, ao variar a orientação, a máxima diferença alcançada nos três padrões de uso em relação às horas de desconforto foi de 1%; sendo que o padrão de uso 1 possui 3.024 horas ocupadas, o padrão de uso 2 tem 3.232 horas e o padrão de uso 3 possui 3.128 horas ocupadas. Embora os valores de horas de desconforto e graus-médio sejam próximos, a orientação norte foi a orientação que garantiu o menor valor de horas de desconforto e um baixo valor dos graus-médio para os três padrões de uso e, portanto, corresponde à orientação de melhor desempenho térmico. A carta bioclimática indicou a orientação leste como a de melhor desempenho térmico para os padrões de uso 1 e 2 e a orientação norte para o padrão de uso 3.

Os dois padrões de uso simulados no quarto 3 foram analisados, sendo que o padrão de uso 1 representa ocupação entre 21 e 6 horas, enquanto o padrão de uso 2 representa ocupação predominante entre 22 e 6 horas e entre 15 e 18 horas. Os dois padrões de uso simulados mostraram que a orientação norte é a de melhor desempenho térmico, pois apresenta menor número de horas de desconforto e baixo valor nos graus-médio. A carta bioclimática indicou a orientação sul como a de melhor desempenho térmico para os dois padrões de uso simulados. Pela carta bioclimática, a máxima diferença alcançada ao variar a orientação foi de 0,82% em relação às 1.719 horas ocupadas. Para os graus-hora, ao variar a orientação, o padrão de uso 1 resultou em uma diferença de até 4%, em relação às 2.610 horas ocupadas, enquanto o padrão de uso 2 resultou em uma diferença de 3% em relação às 4.433 horas ocupadas. Os resultados mostraram que para o padrão de uso 2, que representa ocupação no período da tarde e possui maior taxa de ocupação do que o padrão de uso 1, o número de horas de desconforto dobrou e os graus-médio aumentaram em relação ao padrão de uso 1, que não possui ocupação à tarde. Dessa forma, ao levar em consideração a porcentagem de desconforto em relação ao total de horas ocupadas, o padrão de uso 1, que possui menor taxa de ocupação, resultou em menor taxa de desconforto, menor horas de

desconforto e menor graus-médio do que o padrão de uso 2. Dentre os ambientes simulados, o quarto 3 associado ao padrão de uso 2 foi o caso que obteve maior valor dos graus-médio, que se deu em virtude da alta taxa de ocupação, ausência de elementos de sombreamento, ganho de calor pela cobertura, dentre outras características do ambiente. Os resultados mostraram que a influência da orientação foi maior no padrão de uso 2 (diferença de até 133 horas) que no padrão de uso 1 (diferença de até 92 horas). Portanto, os resultados comprovam que o comportamento do usuário tem influência no desempenho térmico da edificação e que a influência da orientação no desempenho térmico depende do comportamento do usuário.

A sala 1 com o padrão de uso 1 resultou em até 5% de diferença nas horas de desconforto térmico ao variar a orientação em relação às 1.719 horas anuais ocupadas, enquanto o padrão de uso 2 resultou em até 7% em relação às 1.044 horas anuais ocupadas. Dessa forma, a influência da orientação no padrão de uso 1 foi de 86 horas, enquanto para o padrão de uso 2 foi de 73 horas. Ao analisar a carta bioclimática, a máxima diferença alcançada ao variar a orientação foi de 1,27% em relação às 1.044 horas ocupadas. O padrão de uso 1 representa ocupação entre 20 e 23 horas nos dias de semana e aos finais de semana entre 11 e 14 horas e entre 17 e 22 horas, enquanto o padrão de uso 2 tem ocupação entre 18 e 21 horas nos dias de semana. Considerando os graus-hora e a carta bioclimática, para o padrão de uso 1, a orientação norte foi a de melhor desempenho térmico, enquanto para o padrão de uso 2 foi a orientação sul.

Dentre os três padrões de uso simulados na sala 2, apenas dois foram analisados, dado que o padrão de uso 1 não possui taxa de ocupação. Em relação a todos os ambientes analisados, a sala 2 com o padrão de uso 3 foi o caso que resultou em menor horas de desconforto. No entanto, esse resultado se deu em virtude da baixa taxa de ocupação, equivalente a 208 horas anuais. Ao avaliar os percentuais de desconforto em relação ao total de horas ocupadas, a sala 2 associada ao padrão de uso 2 foi o caso que resultou em melhor desempenho térmico. Destaca-se que o padrão de uso 2 representa ocupação predominante entre 8 e 22 horas, enquanto o padrão de uso 3 representa ocupação essencialmente aos finais de semana às 14 e 15 horas. O baixo percentual de desconforto térmico do padrão de uso 2

ressalta a importância das características do ambiente para melhorar o desempenho térmico, uma vez que, ao variar a orientação, houve um aumento de 224 horas de desconforto e de 0,33°C nos graus-médio entre a pior e melhor orientação. Pela carta bioclimática, a orientação 135°SE foi a de melhor desempenho térmico para o padrão de uso 2 e a máxima diferença alcançada ao variar a orientação foi de 0,28%. Para o padrão de uso 3, a orientação norte foi a de melhor desempenho térmico e a máxima diferença alcançada ao variar a orientação foi de 1,44%. Pelos graus-hora, os dois padrões de uso simulados indicaram a orientação norte como a de melhor desempenho térmico e a leste como a de pior desempenho. A baixa influência da orientação nas horas de desconforto do padrão de uso 3, que alcançou uma diferença máxima de 6 horas entre a pior e a melhor orientação, ressalta que, dependendo do período que o usuário permanece no ambiente, a orientação pode não exercer influência significativa nas horas de desconforto térmico.

Ao analisar a cozinha, o padrão de uso 1 resultou em até 9% de horas de desconforto ao variar a orientação, em relação às 522 horas ocupadas, o equivalente a 45 horas. Ressalta-se que o padrão de uso 1 representa ocupação nos dias de semana às 7 e 17 horas. Em relação às 2.190 horas ocupadas, o padrão de uso 2 resultou em até 11% de horas de desconforto ao variar a orientação, sendo que a sua ocupação predomina entre 10 e 15 horas. O padrão de uso 3, que representa ocupação predominante entre 12 e 14 horas e entre 19 e 20 horas, resultou em até 10% de horas de desconforto térmico ao variar a orientação, sendo que possui 1.721 horas ocupadas. Por fim, o padrão de uso 4, que representa ocupação variada ao longo do dia, resultou em até 7% de horas de desconforto térmico ao variar a orientação, em relação às 1.887 horas ocupadas. Pela carta bioclimática, o padrão de uso 3 resultou uma diferença máxima de 2,8% ao variar a orientação e corresponde ao caso que alcançou maior diferença na porcentagem de desconforto. Para os quatro padrões de uso simulados, a orientação norte foi a de melhor desempenho térmico, visto que resultou em menor número de horas de desconforto e baixo valor de graus-médio. Pela carta bioclimática, a orientação sul foi a de melhor desempenho térmico para os padrões de uso 1, 2 e 4, enquanto para o padrão de uso 3 foi a orientação norte. Dentre os padrões de uso simulados na cozinha,

os padrões de uso 3 e 4 foram os que resultaram em maior valor dos graus-médio e maior porcentagem de desconforto em relação ao total de horas ocupadas, o que comprova que o comportamento do usuário influencia no desempenho térmico.

4.4.2 Orientação e ambiente com melhor desempenho térmico

Para determinar o percentual que cada orientação obteve melhor desempenho térmico e, conseqüentemente, determinar a orientação de melhor desempenho, foram comparados catorze casos que possuem o mesmo padrão de uso em um mesmo ambiente e diferentes orientações.

A Tabela 21 indica o número de vezes que cada orientação atingiu melhor desempenho térmico e a porcentagem em relação ao total de casos avaliados.

Tabela 21 - Orientação com melhor desempenho térmico, considerando horas ocupadas.

Orientação da fachada com abertura do ambiente	Graus-médio e horas de desconforto		Carta Bioclimática	
	Casos com melhor desempenho (%)	Casos com melhor desempenho (unid.)	Casos com melhor desempenho (%)	Casos com melhor desempenho (unid.)
0°N	79%	11	43%	6
45°NE	0%	0	0%	0
90°L	0%	0	14%	2
135°SE	0%	0	7%	1
180°S	21%	3	36%	5
225°SO	0%	0	0%	0
270°O	0%	0	0%	0
315°NO	0%	0	0%	0
Total de casos avaliados			14	

Considerando os graus-médio e as horas de desconforto, a orientação norte foi a de melhor desempenho térmico em 79% dos catorze casos avaliados, enquanto a orientação sul representou 21% dos casos. A carta bioclimática indicou a orientação 0°N como a orientação de melhor desempenho térmico

RESULTADOS E DISCUSSÕES

em 43% dos casos avaliados, em seguida tem-se a 180°S com 36%, 90°L que representa 14% e a 135°SE que representa 7% dos casos avaliados. Os dois casos que resultaram na orientação leste como a de melhor desempenho correspondem ao padrão de uso 1 e 2 simulados no quarto 2, enquanto o caso da orientação sudeste corresponde ao padrão de uso 2 da sala 2. Ressalta-se que os casos que consideraram as orientações leste e sudeste como as de melhor desempenho térmico ultrapassaram menos o limite de 80% de umidade relativa do ar do que as demais orientações.

Para definir o ambiente com melhor desempenho térmico, foi feita a mesma análise utilizada para avaliar as horas anuais. Para isso, foi levada em consideração a porcentagem de desconforto em relação ao total de horas ocupadas, visto que não seria adequado levar em consideração o caso com menor número de horas em desconforto, pois o número de horas ocupadas é diferente em cada caso. Destaca-se que o quarto 2 não foi incluso nessa análise, visto que o uso do ar-condicionado possui uma condição distinta em relação aos ambientes não condicionados.

A Tabela 22 apresenta o número de vezes que cada ambiente apresentou melhor desempenho térmico e a porcentagem em relação ao total de casos avaliados.

Tabela 22 - Ambiente com melhor desempenho térmico, considerando horas ocupadas.

Ambiente	Graus-médio e horas de desconforto		Carta Bioclimática	
	Casos com melhor desempenho (%)	Casos com melhor desempenho (unid.)	Casos com melhor desempenho (%)	Casos com melhor desempenho (unid.)
Quarto 1	0%	0	100%	8
Quarto 3	0%	0	0%	0
Sala 1	0%	0	0%	0
Sala 2	100%	8	0%	0
Cozinha	0%	0	0%	0
Total de casos avaliados	8			

Para os graus-médio e horas de desconforto, a sala 2, quando associada ao padrão de uso 2, foi o ambiente que resultou em menor porcentagem de desconforto térmico em relação ao total de horas ocupadas e, por isso, representou 100% dos oito casos avaliados. Os elementos do entorno que sombreiam as superfícies externas, a ausência de radiação solar pela cobertura e a baixa carga térmica interna, são características da sala 2 que permitiram os bons resultados alcançados diante dos demais ambientes. A menor área de superfície exposta ao exterior, a presença de elementos no entorno que sombreiam a fachada com janela e a ocupação predominantemente noturna, são características que contribuíram para que o quarto 1 seja o ambiente de melhor desempenho térmico pela carta bioclimática.

4.4.3 Síntese dos resultados

As análises das horas ocupadas ressaltam que a influência da orientação no desempenho térmico depende do comportamento do usuário. Os resultados obtidos na sala 2 associada ao padrão de uso 3 corroboram essa afirmativa; uma vez que, das 208 horas anuais ocupadas, a máxima diferença alcançada foi de 6 horas de desconforto térmico ao variar a orientação. Portanto, ao considerar as horas ocupadas, a influência da orientação pode ser muito baixa ou até nula dependendo do comportamento do usuário e da taxa de ocupação.

Os casos analisados apresentaram porcentagens significativas de desconforto, sendo que o caso com maior desconforto térmico resultou em 42% das 1.721 horas ocupadas de desconforto. A correta orientação permitiria que essa porcentagem caísse para 32% e reduzisse os graus-médio em 0,14°C. Dentre os casos analisados, a máxima diferença de desconforto térmico alcançada ao variar a orientação foi de 11% em relação às 2.190 horas ocupadas, o equivalente a 228 horas. A máxima diferença alcançada em relação aos graus-médio, ao variar a orientação, foi de 0,16°C. Pela carta bioclimática, a máxima diferença alcançada foi de 2,8% em relação às 1.721 horas ocupadas. Dessa forma, os resultados comprovam que a orientação é capaz de melhorar o desempenho térmico.

Embora a porcentagem de desconforto em relação ao número de horas ocupadas do quarto 2 seja baixa em relação aos demais ambientes, as horas de desconforto indicam que o ar-condicionado não está garantindo conforto térmico aos usuários. Dessa forma, justifica-se o baixo consumo energético observado na Figura 30 da seção 4.3.1.

Ao avaliar os resultados, observou-se que as horas ocupadas indicaram as orientações norte e sul como as de melhor desempenho térmico, pois alcançaram menor número de horas de desconforto e obtiveram baixo valor de graus-médio em relação às demais orientações. Para os graus-médio e horas de desconforto, a orientação norte foi a de melhor desempenho térmico em 79% dos casos avaliados, enquanto a orientação sul compreendeu 21% dos casos. Para a carta bioclimática, a orientação norte foi a de melhor desempenho térmico em 43% dos casos avaliados, a orientação sul compreendeu 36% dos casos, a leste 14% e a orientação sudeste representou 7% dos casos avaliados.

Dentre os cinco ambientes analisados, a sala 2 e o quarto 1 foram os ambientes que obtiveram melhor desempenho térmico, uma vez que atingiram menor porcentagem de desconforto em relação ao total de horas analisadas. Os elementos de sombreamento do entorno, a ausência de radiação solar pela cobertura, a área de superfície exposta ao exterior, o período de ocupação e a baixa carga térmica interna, colaboraram para que a sala 2 e o quarto 1 obtivessem melhor desempenho térmico em relação aos demais ambientes.

Portanto, reafirma-se os resultados obtidos na análise das horas anuais totais, os quais comprovam que a orientação da fachada com abertura e o comportamento do usuário exercem influência no desempenho térmico. Destaca-se que a influência da orientação no desempenho térmico depende do comportamento do usuário, visto que, dependendo do período de ocupação, a orientação pode não exercer influência ou exercer baixa influência nas horas de desconforto térmico.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a influência da orientação solar, considerando diferentes padrões de uso, no desempenho térmico de uma tipologia de residência unifamiliar em Goiânia. A análise de desempenho foi feita por meio de simulações computacionais e, para isso, alguns objetivos específicos foram traçados.

Para obter os padrões de uso simulados, aplicaram-se 66 formulários a respeito do comportamento do usuário no condomínio residencial analisado. A fim de reduzir o número de padrões de uso simulados, realizou-se a análise de *cluster*, a qual permitiu agrupar objetos com comportamentos similares e eleger um objeto para representar o grupo e realizar a simulação. Por meio da análise de *cluster* foram obtidos dezesseis padrões de uso para os seis ambientes avaliados. Com a redução do número de padrões de uso obtidos nos formulários, foi possível reduzir o número de variáveis na simulação final e viabilizar a análise proposta.

Com o monitoramento e a definição das características de uma edificação real, foi possível calibrar o modelo de simulação computacional utilizado na análise final. Dessa forma, o modelo simulado gerou resultados bem próximos aos de uma edificação real, entretanto não foi possível calibrar o modelo utilizando as janelas abertas para verificar o funcionamento da edificação com a ventilação natural. O coeficiente de determinação obtido no modelo de referência mostrou alta correlação entre os dados, principalmente para o quarto 2. Os valores de amplitude térmica obtiveram diferenças em torno de 1°C em relação aos valores calibrado e monitorado, mas considerando que o equipamento de medição possui uma imprecisão de 0,7°C, o modelo foi considerado calibrado.

Os resultados obtidos na calibração mostraram que a adição do entorno foi o parâmetro de maior influência na calibração, uma vez que existem objetos que funcionam como elementos de sombreamento e influenciam significativamente na temperatura interna do ambiente. O valor de absorvância adotado para a pintura no modelo calibrado foi diferente do que se esperava, pois segundo a NBR 15.220 (ABNT, 2005) o valor de

abstortância igual a 0,05 é recomendado para chapas de alumínio novas e não para uma pintura de cor clara.

A partir do modelo calibrado e dos dezesseis padrões de uso obtidos na análise de *cluster*, procedeu-se a simulação com a variação dos padrões de uso e da orientação da edificação. Com isso, foi possível obter os valores de temperatura operativa, temperatura do ar e umidade relativa do ar de cada caso simulado. Os dados obtidos nas simulações foram utilizados para o cálculo das horas de desconforto, graus-médio e horas de desconforto pela carta bioclimática, que possibilitaram identificar a orientação e o ambiente de melhor desempenho térmico.

Ao avaliar os resultados, considerando as horas anuais e ocupadas, verificou-se que as orientações a 0°, norte, e 180°, sul, foram as que obtiveram melhor desempenho nos casos simulados, sendo que a orientação norte foi a que resultou em melhor resultado nos três conceitos utilizados para análise, ou seja, graus-médio, horas de desconforto e carta bioclimática. Ressalta-se que, pela carta bioclimática, a orientação leste resultou em melhor desempenho térmico em 19% dos casos avaliados pelas horas anuais e em 14% dos casos avaliados pelas horas ocupadas, e a orientação sudeste resultou em melhor desempenho em 7% dos casos avaliados pelas horas ocupadas. Porém, observou-se que a orientação leste e sudeste ultrapassaram menos o limite de conforto de umidade relativa do ar quando comparadas com as outras orientações e, por isso, obtiveram melhor desempenho. Portanto, ao considerar que os usuários possuem boa aceitação de conforto com umidades superiores a 80%, a carta bioclimática sugere que as orientações norte e sul são as de melhor desempenho térmico.

Considerando as horas anuais, identificou-se que a edificação, quando bem orientada, resultou em até 8% de horas de conforto, equivalente a 701 horas anuais, a mais do que quando esteve mal orientada. Ao analisar apenas as horas ocupadas, identificou-se que, ao variar a orientação, a máxima diferença alcançada foi de 11% nas horas de desconforto térmico, em relação às 2190 horas ocupadas anualmente. Dessa forma, para o caso analisado, observou-se que, percentualmente, a orientação exerce mais influência nas horas ocupadas do que quando são consideradas as horas totais anuais.

Constatou-se que a orientação por si só não define o desempenho, uma vez que uma edificação com baixa carga térmica interna e orientada a leste ou oeste é capaz de obter melhor desempenho térmico que uma edificação orientada a norte ou sul e com alta carga térmica interna. Observou-se que ao comparar as horas de desconforto de um ambiente com a fachada com abertura em diferentes orientações solares, o padrão de uso influenciou no aumento ou na redução da diferença de horas de desconforto entre a orientação de melhor e pior desempenho térmico. Ao avaliar as horas ocupadas, identificou-se que a orientação exerce pouca influência nas horas de desconforto quando o número de horas ocupadas é baixo.

Em todas as simulações realizadas, a carta bioclimática recomendou a ventilação natural como a melhor estratégia para reduzir o desconforto térmico por calor. Dessa forma, a abertura das janelas no momento em que a temperatura externa é inferior à temperatura interna é capaz de melhorar o conforto térmico do usuário. Diante disso, enfatiza-se a necessidade do construtor em instruir o usuário sobre a melhor maneira de utilizar a edificação, a fim de garantir bom desempenho térmico e uma edificação mais eficiente energeticamente.

Considerando as horas anuais, a sala 1 e a sala 2 foram os ambientes que obtiveram melhor desempenho térmico nas análises. Ao considerar as horas ocupadas, a sala 2 e o quarto 1 foram os ambientes que obtiveram melhor desempenho térmico. Portanto, comprovou-se que o comportamento do usuário, o material e a área da janela, a ausência de radiação solar pela cobertura, a área superficial exposta ao exterior e os elementos de sombreamento são parâmetros que exercem influência no desempenho térmico. É evidente que outros parâmetros, como a envoltória, também influenciam no desempenho térmico, porém não houve variação da envoltória nas simulações, ou de outros parâmetros, para que estes exercessem influência nos resultados.

O trabalho confirmou que a orientação é uma estratégia projetual que permite melhorar o desempenho térmico e, conseqüentemente, reduzir o consumo energético para refrigerar ou aquecer o ambiente e que o comportamento do usuário exerce influência no desempenho térmico. Por isso, além da adoção de estratégias projetuais no processo de projeto, é necessário conduzir o usuário à melhor maneira de utilizar a edificação, pois,

assim, é possível obter uma edificação com melhor desempenho térmico e mais eficiente energeticamente.

5.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Como limitações do trabalho, têm-se:

- O arquivo climático utilizado na calibração foi ajustado com os dados obtidos no monitoramento, que ocorreu entre 21 de dezembro de 2015 e 30 de janeiro de 2016, e a calibração foi realizada nos dias 28, 29 e 30 de dezembro de 2015. Dessa forma, é possível que os dias anteriores ao dia 21, que permaneceram com os dados climáticos originais do arquivo EPW, tenham influenciado no processo de calibração. Entretanto, considerando que a temperatura média predominante do ar externo tem influência somente dos últimos sete dias, é possível que os dados climáticos originais do arquivo EPW não tenham influenciado na calibração;

- A calibração da residência desocupada e a análise de somente dois ambientes da edificação podem ter simplificado o processo de calibração, uma vez que se deixa de considerar parâmetros de ventilação e outras características da edificação como a orientação e as trocas de calor com o solo. Portanto, pode haver incerteza no modelo de referência;

- O número de formulários aplicados foi definido pelo número de usuários que se dispuseram a respondê-los e do tempo destinado à pesquisa. Dessa forma, não foi considerado o nível de confiabilidade para determinar o tamanho amostral;

- Devido ao alto número de parâmetros adotados na definição do padrão de uso, não foi levantado nos formulários como os usuários utilizam a veneziana da janela dos quartos. Dessa forma, nas simulações, as duas folhas de alumínio ficaram fechadas, posicionadas juntas e em um local fixo e somente a folha de vidro que movimentava. A inclusão do movimento da veneziana poderia influenciar no desempenho térmico do ambiente, uma vez que aumentaria a área da janela com material de alumínio e possibilitaria a entrada de ar pelas frestas da veneziana;

- Cortinas, persianas e outros sistemas de proteção solar não foram considerados nas simulações;

- Há incerteza no consumo energético, uma vez que o uso do *setpoint* resulta em um sistema automatizado que não considera a capacidade do usuário em manusear o equipamento;
- A adoção de conceitos que utilizam valores de temperatura base de desconforto diferentes dificultou a análise e comparação dos resultados.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Após o desenvolvimento deste trabalho notou-se a necessidade de dar continuidade a esse assunto a fim de desvendar a influência da orientação solar associada ao comportamento do usuário no desempenho térmico de edificações. Seguem algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Avaliar a influência da orientação e do comportamento do usuário apenas nos momentos em que o usuário ocupa o ambiente;
- Considerar aparelhos elétricos com diferentes coeficientes de eficiência energética;
- Aumentar o número de casos simulados, a fim de ampliar a amostra e, conseqüentemente, obter uma avaliação e porcentagem mais expressiva da influência da orientação no desempenho térmico;
- Avaliar a influência da orientação solar associada a diferentes propriedades da envoltória, elementos de sombreamento, dentre outros parâmetros;
- Analisar as trocas térmicas do ambiente com o objetivo de identificar quais são os elementos que mais exercem ganho de calor, a fim de modificá-los para obter melhor desempenho térmico.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs. ANSI/ASHRAE Standard 140.** American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220: Desempenho Térmico de Edificações.** Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho.** Rio de Janeiro, 2013.
- ABANDA, F. H; BYERS, L. An investigation of the impact of building orientation on energy consumption in a domestic building using emerging BIM (Building Information Modelling). **Energy and Buildings**, n 97. p. 517-527, 2016.
- ALMEIDA, L. S. S. **Influência de parâmetros físicos e geométricos no desempenho termoenergético de habitações unifamiliares.** Florianópolis, 2014. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.
- AMORIM, C. N. D; BRAGA, D. K. Conforto térmico em edifícios residenciais do plano piloto de Brasília. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2004. **Anais...** São Paulo: ENTAC, 2004.
- BARBOSA, M. J; LAMBERTS, R. Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares, aplicada a Londrina-PR. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2001. **Anais...** Canela: ENTAC, 2001.
- BATISTA, J. O. **Arquitetura e seu desempenho térmico no contexto do semiárido alagoano: estudos de caso em Santana do Ipanema.** Florianópolis, 2006. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

- BATISTA, J. O.; LAMBERTS, R.; GUTHS, S. Influências dos algoritmos de condução e convecção sobre os resultados de simulações do comportamento térmico de edificações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 4, p. 79-97, 2011.
- BEKKOUICHE, S. M. E. A.; BENOUAZ, T.; CHERIER, M. K.; HAMDANI, M.; YAICHE, R. M.; KHANNICHE, R. Influence of Building Orientation on internal temperature in saharian climates, building located in Ghardaia region (Algeria). **Thermal Science**, [S.l.], v. 17, n. 2, p. 349-364, 2013.
- BONTE, M.; THELLIER, F.; LARTIGUE, B. Impact of occupant's actions on energy building performance and thermal sensation. **Energy and Buildings**, [S.l.], v. 76, p. 219-227, 2014.
- BRAGA, N.; SABOYA, R.; ORDENES, M. Espacialidade arquitetônica e desempenho térmico de residências contemporâneas em clima tropical quente e úmido. In: ENCONTRO NACIONAL E LATINOAMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2013. **Anais...** Brasília: ENCAC/ELACAC, 2013.
- BRANDALISE, M.; AVILA, V.; OLIVEIRA, L.; CUNHA, E. Análise da sensibilidade do método prescritivo do RTQ-C quanto à variação de densidade de carga interna. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2014. **Anais...** MACEIÓ: ENTAC, 2014.
- BRASIL. Ministério de minas e energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2015**: ano-base 2015. Relatório Final. Rio de Janeiro: EPE, 2016.
- BUSSAB, W. O.; MIAZAKI, E. S.; ANDRADE, D. F. **Introdução à análise de agrupamentos**. IX Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística, São Paulo, SP: 1990
- CAMPONHONI, A.; ROMERO, M. B. Influência da orientação no desempenho dos edifícios em Águas Claras - Distrito Federal. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2010. **Anais...** Canela: ENTAC, 2010.
- CORBELLA, O. D.; CASTANHEIRA, R. G. Sobre a necessidade de proteção da radiação solar incidente nas fachadas, para edifícios entre as latitudes 10° e 35°. In: Encontro Nacional

- sobre o Conforto no Ambiente Construído, 6, 2001. Encontro Latino-Americano sobre o Conforto no Ambiente Construído, 3, 2001. **Anais...** São Pedro: ANTAC, 2001.
- CORBELLA, O; YANNAS, S. **Em Busca de uma Arquitetura Sustentável para os Trópicos: Conforto Térmico.** Rio de Janeiro: Revan, 2003.
- GHISI, E; GOSCH, S; LAMBERTS, R. Electricity end-uses in the residential sector of Brazil. **Energy Policy**, [S.l.], v. 35, p. 4107–4120, 2007.
- GHISI, E; VIEIRA, A. S; ROSA, A. S. da; MARINOSKI, A. K; SILVA, A. S; BALVEDI, B. F; ALMEIDA, L. S. S. **Uso racional de água e eficiência energética em habitações de interesse social: v. 1: hábitos e indicadores de consumo de água e energia.** Laboratório de Eficiência Energética de Edificações (LabEEE), 2015, 91 p. v. 1
- GIVONI, B. **Man climate and architecture.** 2 ed. London: Applied Science Publishers. 486p. 1976.
- GIVONI, B. Comfort climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, n. 1, p. 11–23, 1992.
- GOULART, S. **Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações em Florianópolis.** Florianópolis, 1993. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1993.
- GRIGOLETTI, G. C.; ROTTA, R.; MULLER, S. Avaliação de desempenho térmico de edificações de interesse unifamiliar em Santa Maria - RS. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2010. **Anais...** Canela: ENTAC, 2010.
- HAIR, J.F.; WILLIAM, B.; BABIN, B.; ANDERSON, R.E. **Análise multivariada de dados.** 6.ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Estações e dados.** Disponível em: <inmet.gov.br> Acesso em janeiro de 2016.
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). **Tabelas de**

- consumo/eficiência energética.** Disponível em: <inmetro.gov.br> Acesso em: fevereiro de 2016.
- JANDA, K. B. Buildings Don't Use Energy: People Do. In: CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 26th. **Proceedings...** Quebec City, Canada, p. 22-24, 2009.
- KAVOUSIAN, A; RAJAGOPAL, R; FISCHER, M. Determinants of residential electricity consumption: Using smart meter data to examine the effect of climate, building characteristics, appliance stock, and occupants' behavior. **Energy**, [S.I.], v. 55, p. 184-194, 2013.
- LABEEE. **Analysis Bio.** Programa computacional desenvolvido pelo LabEEE – Laboratório de eficiência energética em edificações da Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: < <http://www.labeee.ufsc.br/> >. Acesso em: 20 out. 2015.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** PW Editores: São Paulo, 1997.
- LAMBERTS, R.; WESTPHAL, F. S. Building simulation calibration using sensitivity analysis. Ninth International IBPSA Conference. **Building Simulation.** 2005. Montreal, Canadá. Building Simulation.
- LIANG, H; LIN, T; HWANG, R. Linking occupants' thermal perception and building thermal performance in naturally ventilated school buildings. **Energy and Buildings**, [S.I.], n. 94, p. 355-363, 2012.
- LOMAS, K. J; FIALA, D; COOK, M. J; CROPPER, P.C. Building bioclimatic charts for non-domestic buildings and passive draught evaporative cooling. **Building and Environment**, [S.I.], n. 39, p. 661 – 676, 2004.
- LOUREIRO, K. C. G. **Análise de desempenho térmico e consumo de energia de residências na cidade de Manaus.** 2003. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- MAIER, T; KRZACZEK, M; TEJCHMAN, J. Comparison of physical performances of the ventilation systems in low-energy residential houses. **Energy and Buildings**, [S.I.], n. 41. p. 337-353, 2009.

- MARQUES, A. M. **Desempenho térmico de edificações unifamiliares de interesse social: estudo de casos em Imbituba – SC**. 2008. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
- MASCARÓ, J.L.; MASCARÓ, L.R. **Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios**. 2ª ed. Porto Alegre. Ed. Luzzatto, 1992.
- MATOS, M. **Simulação computacional do desempenho térmico de residências em Florianópolis utilizando a ventilação natural**. 2007. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.
- MEESTER, T. de; MARIQUE, A. F; HERDE, A. de; REITER, S. Impacts of occupant behaviours on residential heating consumption for detached houses in a temperate climate in the northern part of Europe. **Energy and Buildings**, [S.l.], n. 57. p. 313-323, 2012.
- MELO, A. P; LAMBERTS, R; MAZZAFERO, L. **Manual de simulação computacional de edifícios com o uso do objeto Ground Domain no programa EnergyPlus**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), 2015, 22 p.
- MELLO, C. S. de; LOMARDO, L. B. L. Desempenho térmico nas agências dos correios: um estudo para requalificação do ambiente de trabalho. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2014. **Anais...** Maceió: ENTAC, 2014.
- MENEZES, M. S. **Avaliação do desempenho de habitações sociais de Passo Fundo – RS**. 2006. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2006.
- MICHALOSKI, A. O. **Avaliação do desempenho térmico por meio de simulação computacional de habitações populares implantadas na vila tecnológica de Curitiba**. 2002. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Tecnologia. Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2002.

- MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada**: uma abordagem aplicada. Belo Horizonte: Ed. da UFMG, 2005.
- MINITAB**. Minitab 17 Statistical Software. State College, PA: Minitab, 2010. Disponível em: (<www.minitab.com>) Acesso em: fev. 2016.
- MIZGIER, M. O.; PENSO, E. A. Desempenho térmico de fachadas ventiladas como proposta de retrofit em edifícios comerciais na cidade de São Paulo. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2016. **Anais...** São Paulo: ENTAC, 2016.
- MONETTI, V; DAVIN, E; FABRIZIO, E; ANDRE, P; FILIPPI, M. Calibration of building energy simulation models based on optimization: a case study. **Energy Procedia**, 6th International Building Physics Conference, v. 78, p. 2971–2976, 2015.
- NEGREIROS, B. A. **Análise de métodos de predição de conforto térmico de habitação em clima quente-úmido com condicionamento passivo**. 2010. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.
- NICO-RODRIGUES, E. A.; ALVAREZ, C. E. de; SANTO, A. D.; PIDERIT, M. B. Quando a janela define a condição de desempenho térmico em ambientes ventilados naturalmente: caso específico das edificações multifamiliares em Vitória, ES. **Ambiente Construído**, v. 15, p. 7-23, 2015.
- O'BRIEN, W. Occupant-proof building: can we design buildings that are robust against occupant behavior?. In: CONFERENCE OF INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION, 13th. **Proceedings...** Chambéry, 2013.
- OLGYAY, V. **Design with climate**. Princeton University Press, New Jersey: [s.n.], 1963.
- OLGYAY, V. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, [S.l.], v. 18, p. 11-23, 1992.

- ONSET COMPUTER CORPORATION. **Manual HOBODatalogger RH-Temp**. ONSET, [S.I.], 1999.
- ORDENES, M.; PEDRINI, A.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Metodologia utilizada na elaboração da biblioteca de materiais e componentes construtivos brasileiros para simulações no Visualdoe-3.1**. (Relatório Interno) – Departamento de Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2003.
- ORME, M. Estimates of the energy impact of ventilation and associated financial expenditures. **Energy and buildings**, [S.I.], v. 33, p. 199-205, 2001.
- PALIOURAS, P; MATZAFLARAS, N; PEUHKURI, R. H; KOLARIK, J. Using measured indoor environment parameters for calibration of building simulation model- a passive house case study. 6th International Building Physics Conference. **Energy Procedia**, [S.I.], v. 78, p. 1227-1232, 2015.
- PAPAKOSTAS, K.; KYRIAKIS, N. Heating and cooling degree-hours for Athens and Thessaloniki, Greece. **Renewable Energy**, [S.I.], v. 30, p. 1873-1990, 2005.
- PAPST, A. L. **Uso de inércia térmica no clima subtropical, estudo de caso em Florianópolis – SC**. Florianópolis, 1999. Dissertação (Mestrado) -- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.
- PAPST, A. L.; LAMBERTS, R. Comparação do desempenho térmico de três ambientes residenciais naturalmente ventilados em Florianópolis, sul do Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2002. **Anais...** Foz do Iguaçu: ENTAC, 2002.
- PEDRINI, A. **Desenvolvimento de metodologia de calibração de modelos para simulações térmicas e energéticas de edificações**. 1997. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina.
- PEDRINI, A.; WESTPHAL, F.S.; LAMBERTS, R. A methodology for building energy modelling and calibration in warm climates. **Building and Environment**, [S.I.], v. 37, p. 903-912, 2002.

- PEREIRA, C. D.; GHISI, E. The influence of the envelope on the thermal performance of ventilated and occupied houses. **Energy and buildings**, [S.l.], v. 43, p. 3391–3399, 2011.
- PEREIRA, H. A. C.; MELO, A. P.; SORGATO, M. J.; VERSAGE, R.; MATOS, M.; LAMBERTS, R. **Manual de simulação computacional de edifícios naturalmente ventilados no programa EnergyPlus – versão 8.0**. Laboratório de eficiência energética (LabEEE). Florianópolis, 2013.
- PEREIRA, C. D.; GHISI, E. Calibração de um modelo computacional de uma residência unifamiliar localizada em Florianópolis. In: ENCONTRO NACIONAL E ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2015. **Anais...** Campinas: ENCAC, 2015.
- PEREIRA, C. D.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R.; GUTHS, S.; GHISI, E. **Relatório de avaliação do espectrômetro portátil ALTA II**. Centro brasileiro de eficiência energética (CB3E), Florianópolis, 2015.
- RORIZ, M. **Uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro**. In: ANTAC Grupo de Trabalho sobre Conforto Ambiental e Eficiência Energética de Edificações. São Carlos, 2012.
- ROSA, A, S, da. **Determinação de modelos de referência de habitações populares unifamiliares para Florianópolis através de análise de agrupamento**. 2014. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.
- ROTTA, R. **Desempenho térmico de edificações multifamiliares de interesse social em conjuntos habitacionais na cidade de Santa Maria – RS**. 2009. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.
- SANTIN, O. G; ITARD, L; VISSCHER, H. The effect of occupancy and building characteristics on energy use for space and water heating in Dutch residential stock. **Energy and Buildings**, v. 41, p. 1223–1232, 2009.
- SILVA, A. S; GHISI, E. Uncertainty analysis in building simulation: a case study in low-income dwellings in Brazil.

- Conference of International Building Performance Simulation Association, 13th. **Proceedings...** Chambéry, France, August 26-28. 2013.
- SINGH, M. K; MAHAPATRA, S; ATREYA, S. K. Bio-climatic chart for different climatic zones of northeast India. INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOLAR RADIATION AND DAY LIGHTING, 3. **Proceedings...** New Delhi, India, 2007.
- SIQUEIRA, T. C. P. A; AKUTSU, M; LOPES, J. I. E; SOUZA, H. A. de. Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v.58, n. 2, 2005.
- SORGATO, M. J. **Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente**. 2009. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.
- SORGATO, M. J. **A influência do comportamento do usuário no desempenho térmico e energético de edificações residenciais**. 2015. Tese (Doutorado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.
- TOMMERUP, H.; ROSE, J.; SVENDSEN, S. Energy-efficient houses built according to the energy performance requirements introduced in Denmark in 2006. **Energy and Buildings**, v.39, n.1, p 1123-1130, 2007.
- WESTPHAL, F. S. **Análise de incertezas e de sensibilidade aplicadas à simulação de desempenho energético de edificações comerciais**. 2007. Tese (Doutorado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.
- WCED. World Commission on Environment and Development. **Relatório de Brundtland: Our Common Future**. Oxford and New York: Oxford University Press, 1987.

APÊNDICE A – AFERIÇÃO DO EQUIPAMENTO HOBO

Para realizar a aferição dos equipamentos, todos os equipamentos foram programados para coletar dados de temperatura e umidade relativa do ar para um mesmo momento e horário. Os equipamentos foram armazenados e lacrados dentro de uma caixa de poliestireno expandido. Os equipamentos foram programados para armazenar as informações a cada 15 minutos. Os valores indicados nas Tabelas 23 e 24 correspondem aos valores médios obtidos a cada 6 horas, que corresponde aos horários da noite, madrugada, manhã e tarde. Como os equipamentos permaneceram localizados dentro de uma caixa que é um isolante térmico, não houve necessidade de fazer as medições em intervalos menores. A Tabela 23 apresenta a aferição da temperatura dos equipamentos e a Tabela 24 a aferição da umidade dos equipamentos.

Tabela 23 - Aferição dos equipamentos para coleta dos valores de temperatura.

TEMPERATURA (°C)				
		Código dos equipamentos		
Data	Horário	Quarto1 - 812556	Externo - 812562	Quarto 2 - 812544
31/01/2016	20:00	27,91	27,12	27,91
01/02/2016	00:00	24,01	23,63	24,01
01/02/2016	06:00	20,95	20,57	21,33
01/02/2016	12:00	29,10	28,31	29,10
01/02/2016	18:00	30,31	29,90	30,71
02/02/2016	00:00	25,17	24,79	25,17
02/02/2016	06:00	22,09	21,33	22,09
02/02/2016	12:00	29,90	29,10	29,90
02/02/2016	18:00	28,70	28,31	29,10
03/02/2016	00:00	21,71	21,33	22,09
03/02/2016	06:00	20,19	19,81	20,57
Média		25,46	24,93	25,63
Média geral		25,34		
Coeficiente		-0,12	0,41	-0,29

Tabela 24 - Aferição dos equipamentos para coleta dos valores de umidade.

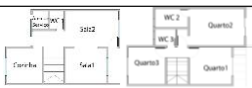
UMIDADE (%)				
Código dos equipamentos				
Data	Horário	Quarto1 - 812556	Externo - 812562	Quarto 2 - 812544
31/01/2016	20:00	45,30	49,70	46,80
01/02/2016	00:00	58,30	62,70	59,0
01/02/2016	06:00	67,60	71,50	68,30
01/02/2016	12:00	52,60	56,30	54,50
01/02/2016	18:00	43,80	47,70	45,40
02/02/2016	00:00	58,50	62,70	59,50
02/02/2016	06:00	70,80	74,60	71,30
02/02/2016	12:00	58,30	61,60	60,10
02/02/2016	18:00	52,50	57,00	53,90
03/02/2016	00:00	75,70	79,50	75,70
03/02/2016	06:00	83,30	85,60	82,20
Média		60,61	64,45	61,52
Média geral		62,19		
Coeficiente		1,58	-2,25	0,67

APÊNDICE B – FORMULÁRIO PADRÃO DE USO

APÊNDICE B – FORMULÁRIO PADRÃO DE USO

As Tabelas 25, 26 e 27 apresentam os formulários sobre o padrão de uso das edificações os quais foram respondidos por usuários de 66 edificações do condomínio. Obtém-se padrão de ocupação; abertura e fechamento das portas e janelas; uso dos equipamentos elétricos; uso da iluminação e uso do ar-condicionado.

Tabela 25 – Formulário para definir o padrão de uso dos ambientes monitorados.

PADRÃO DE OCUPAÇÃO																											
Nome:						Data:																					
Endereço:						Localização dos ambientes:																					
Ambiente	Dias da semana	Nº total de pessoas no ambiente	Preencher o nº de ocupantes em função do horário: "nº" de pessoas. Deixar em branco quando não há ocupantes no horário indicado.																								
			0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	
Sala 1	Seg-Sex																										
	Sáb-Dom																										
Sala 2	Seg-Sex																										
	Sáb-Dom																										
Cozinha	Seg-Sex																										
	Sáb-Dom																										
Quarto 1	Seg-Sex																										
	Sáb-Dom																										
Quarto 2 (Suíte)	Seg-Sex																										
	Sáb-Dom																										
Quarto 3	Seg-Sex																										
	Sáb-Dom																										

PADRÃO ABERTURA E FECHAMENTO DAS JANELAS																											
Ambiente	Dias da semana	Colocar "A" nos horários em que a janela está totalmente aberta; Colocar "F" quando a janela estiver totalmente fechada; e colocar "PA" nos horários em que a janela estiver parcialmente aberta.																									
		0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h		
Sala 1	Seg-Sex																										
	Sáb-Dom																										
Sala 2	Seg-Sex																										
	Sáb-Dom																										
Cozinha	Seg-Sex																										
	Sáb-Dom																										
Quarto 1	Seg-Sex																										
	Sáb-Dom																										
Quarto 2 (Suíte)	Seg-Sex																										
	Sáb-Dom																										
Quarto 3	Seg-Sex																										
	Sáb-Dom																										

PADRÃO ABERTURA E FECHAMENTO DAS PORTAS																											
Ambiente	Dias da semana	Colocar "A" nos horários em que a janela está totalmente aberta; Colocar "F" quando a janela estiver totalmente fechada; e colocar "PA" nos horários em que a janela estiver parcialmente aberta.																									
		0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h		
Sala 1	Seg-Sex																										
	Sáb-Dom																										
Sala 2	Seg-Sex																										
	Sáb-Dom																										
Cozinha	Seg-Sex																										
	Sáb-Dom																										
Quarto 1	Seg-Sex																										
	Sáb-Dom																										
Quarto 2 (Suíte)	Seg-Sex																										
	Sáb-Dom																										
Quarto 3	Seg-Sex																										
	Sáb-Dom																										

Tabela 26 – Formulário para definir padrão de uso dos equipamentos elétricos e da iluminação.

		PADRÃO UTILIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS																								
Aparelho	Ambiente	Frequência (nº de vezes por semana)	Período de uso de equipamentos: "L" corresponde a hora cheia ligada; "n" em minutos* em que o equipamento ficou ligado naquela hora; deixar em branco quando o aparelho está desligado ou quando não existir o aparelho no ambiente.																							
			0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
	Sala 1																									
	Sala 2																									
	Cozinha																									
	Quarto 1																									
	Quarto 2																									
	Quarto 3																									

Tabela 27 – Formulário para levantamento dos equipamentos elétricos.

LEVANTAMENTO DOS EQUIPAMENTOS							
Aparelho	Marca	Modelo	Tipo de produto	Temperatura	Velocidade	Capacidade de refrigeração	Potência
Televisão				x	x	x	
Ar-condicionado					x		
Ventilador				x	Alta Média Baixa	x	
Computador				x	x	x	
Notebook				x	x	x	
Iluminação				x	x	x	
Geladeira				x	x	x	

APÊNDICE C – PADRÕES DE USO ADOTADOS NA SIMULAÇÃO FINAL

As Figuras 33 a 48 apresentam os dezesseis padrões de usos para os seis ambientes analisados. Os padrões de usos indicam o padrão de ocupação, padrão de operação das janelas e portas, padrão de uso dos equipamentos elétricos e padrão de uso da iluminação.

As figuras referentes ao padrão de ocupação indicam o número de ocupantes para o dia e horário indicado, sendo que a barra em cinza claro corresponde ao final de semana e em cinza escuro aos dias de semana.

As figuras do padrão de operação das janelas indicam a porcentagem de abertura da janela, entretanto a porcentagem de abertura dos quartos difere da porcentagem de abertura da sala e da cozinha. Portanto, para determinar o padrão de abertura das janelas dos quartos, que possuem uma das folhas da janela em vidro e a outra em alumínio, utilizaram-se valores de 0 para janela fechada, 0,5 para janela entreaberta, e 1 para janela aberta. Para as janelas da cozinha e das salas, que possuem as duas folhas da janela em vidro, utilizaram-se os valores de 0 para janela fechada, 0,25 para janela entreaberta, e 0,50 para janela aberta. Destaca-se que, nesse último caso, 0,50 corresponde à abertura máxima, pois a área máxima de abertura é a metade da área da janela.

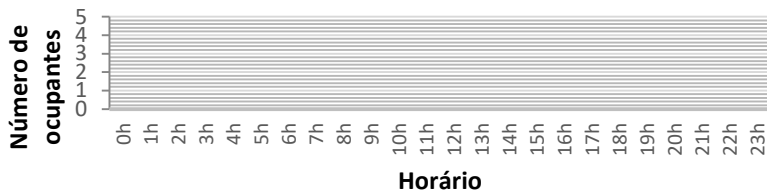
As figuras referentes ao padrão de operação das portas indicam se as portas estão abertas ou fechadas. O valor 0 significa que a porta está fechada para o dia e horário indicado, enquanto o valor 1 indica que a porta está totalmente aberta.

As figuras referentes ao padrão de uso dos equipamentos elétricos indicam a potência dos equipamentos que estão sendo utilizados no horário indicado, inclusive a potência dos aparelhos ligados em *stand-by*. Dessa forma, quando o aparelho elétrico está ligado, o gráfico indica o somatório das potências dos equipamentos elétricos em funcionamento para o horário e dia indicados.

As figuras referentes ao padrão de uso da iluminação indicam o somatório das potências das lâmpadas ligadas para o horário e dia indicado, sendo que o valor 0 significa que não há uso da iluminação no horário indicado.

Legenda das figuras: ■ Final de semana ■ Dia útil

Figura 33 – Quarto 1 com padrão de uso 1.



a) Padrão de ocupação



b) Padrão de operação das janelas



c) Padrão de operação das portas



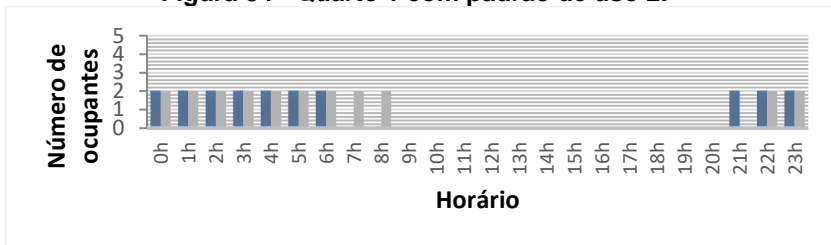
d) Padrão de uso equipamentos elétricos



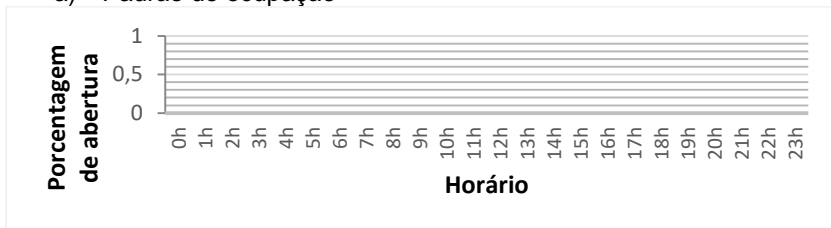
e) Padrão de uso iluminação

APÊNDICE C – PADRÕES DE USO ADOTADOS NA SIMULAÇÃO FINAL

Figura 34 - Quarto 1 com padrão de uso 2.



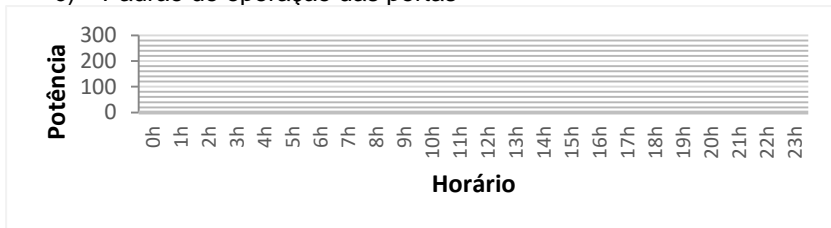
a) Padrão de ocupação



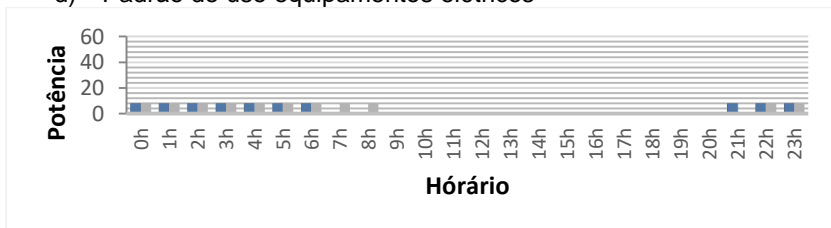
b) Padrão de operação das janelas



c) Padrão de operação das portas

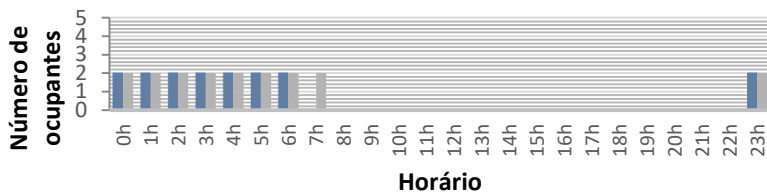


d) Padrão de uso equipamentos elétricos



e) Padrão de uso iluminação

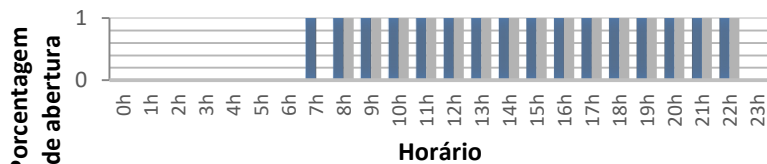
Figura 35 – Quarto 2 com padrão de uso 1.



a) Padrão de ocupação



b) Padrão de operação das janelas



c) Padrão de operação das portas



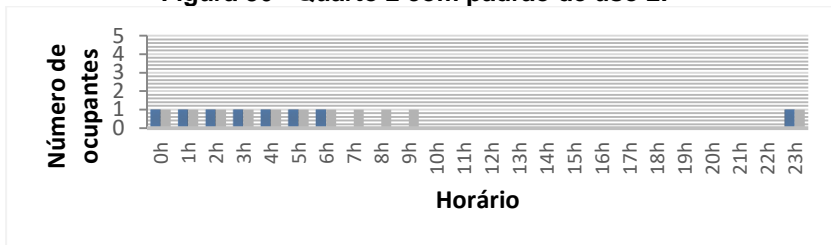
d) Padrão de uso equipamentos elétricos



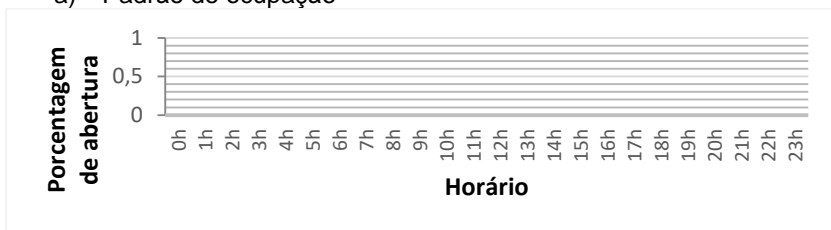
e) Padrão de uso iluminação

APÊNDICE C – PADRÕES DE USO ADOTADOS NA SIMULAÇÃO FINAL

Figura 36 - Quarto 2 com padrão de uso 2.



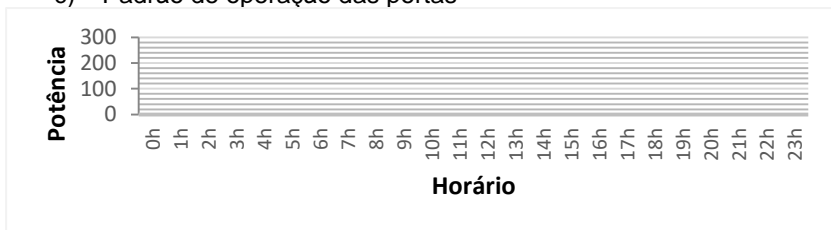
a) Padrão de ocupação



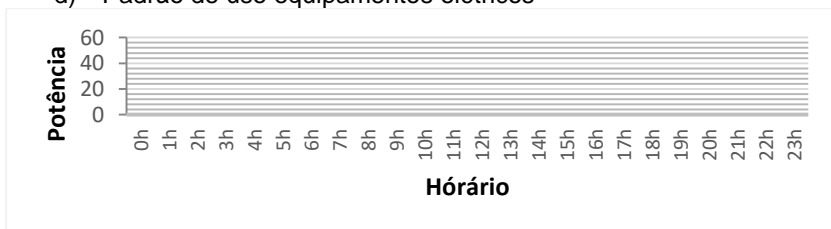
b) Padrão de operação das janelas



c) Padrão de operação das portas

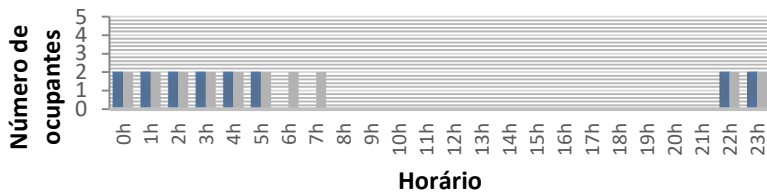


d) Padrão de uso equipamentos elétricos



e) Padrão de uso iluminação

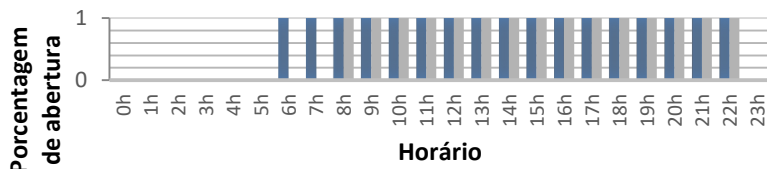
Figura 37 - Quarto 2 com padrão de uso 3.



a) Padrão de ocupação



b) Padrão de operação das janelas



c) Padrão de operação das portas



d) Padrão de uso equipamentos elétricos



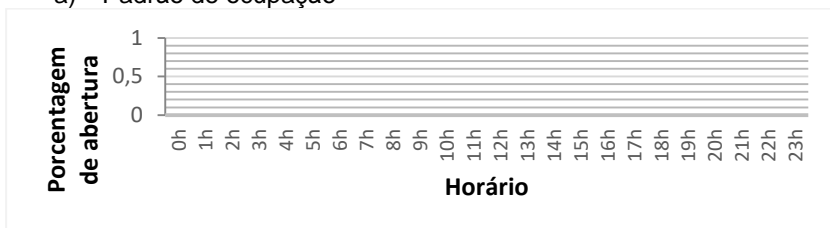
e) Padrão de uso iluminação

APÊNDICE C – PADRÕES DE USO ADOTADOS NA SIMULAÇÃO FINAL

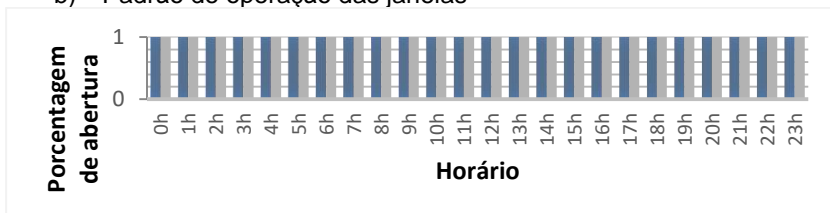
Figura 38 - Quarto 3 com padrão de uso 1.



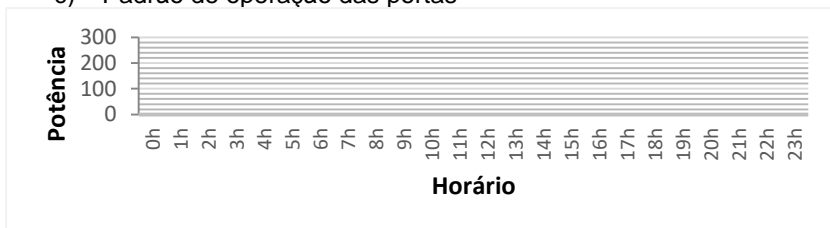
a) Padrão de ocupação



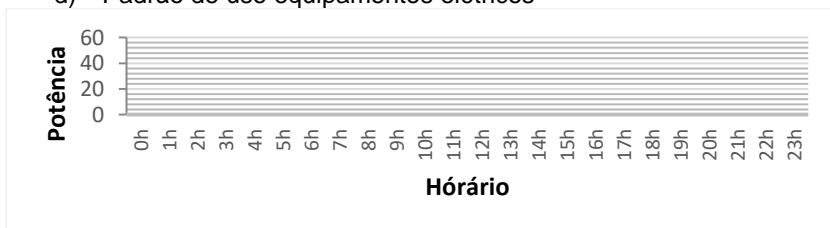
b) Padrão de operação das janelas



c) Padrão de operação das portas

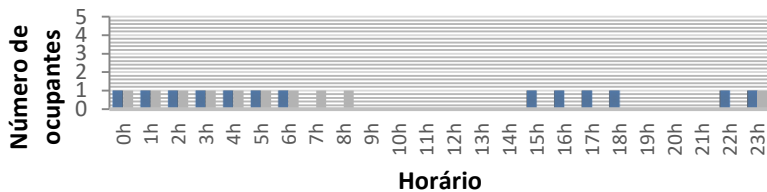


d) Padrão de uso equipamentos elétricos



e) Padrão de uso iluminação

Figura 39 - Quarto 3 com padrão de uso 2.



a) Padrão de ocupação



b) Padrão de operação das janelas



c) Padrão de operação das portas



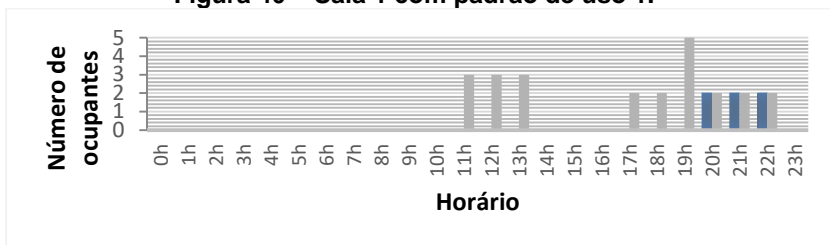
d) Padrão de uso equipamentos elétricos



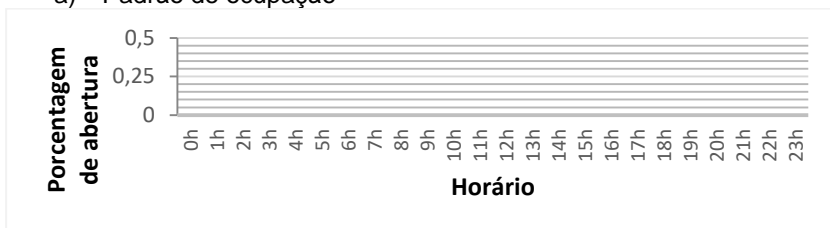
e) Padrão de uso iluminação

APÊNDICE C – PADRÕES DE USO ADOTADOS NA SIMULAÇÃO FINAL

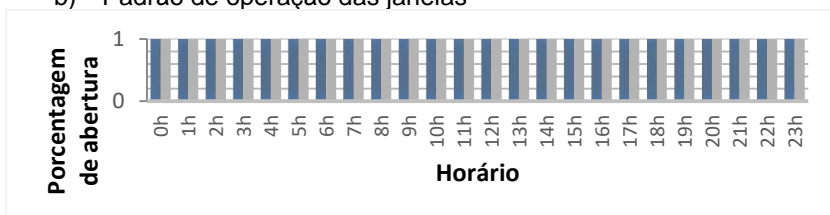
Figura 40 – Sala 1 com padrão de uso 1.



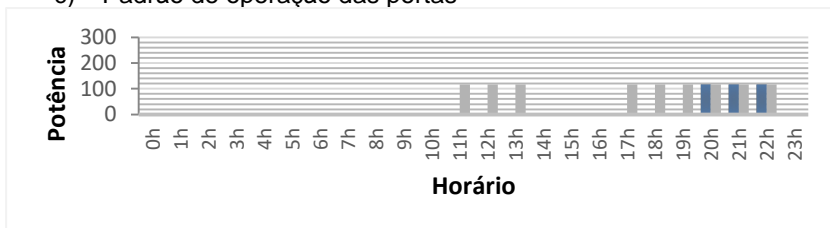
a) Padrão de ocupação



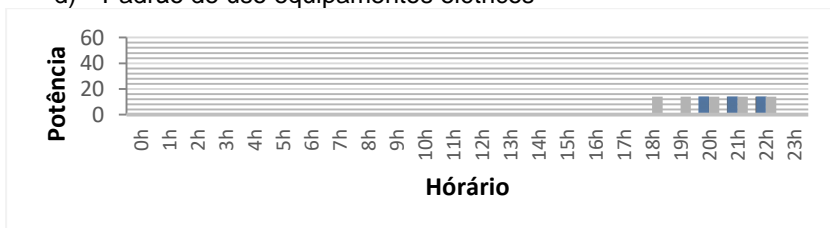
b) Padrão de operação das janelas



c) Padrão de operação das portas



d) Padrão de uso equipamentos elétricos

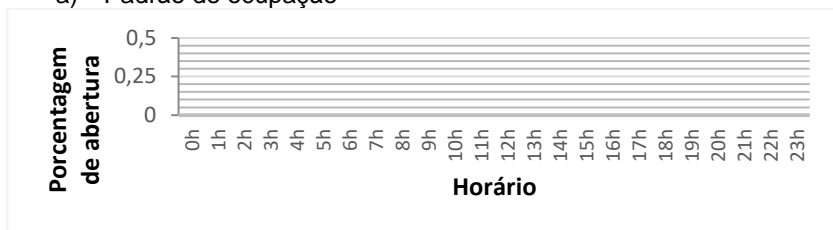


e) Padrão de uso iluminação

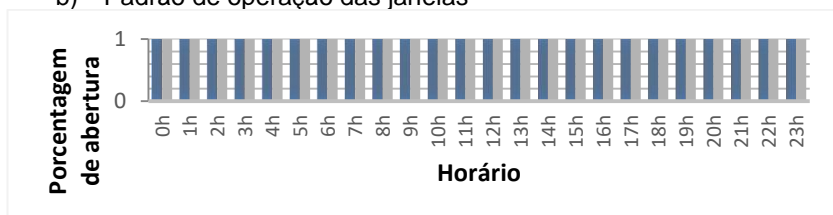
Figura 41 - Sala 1 com padrão de uso 2.



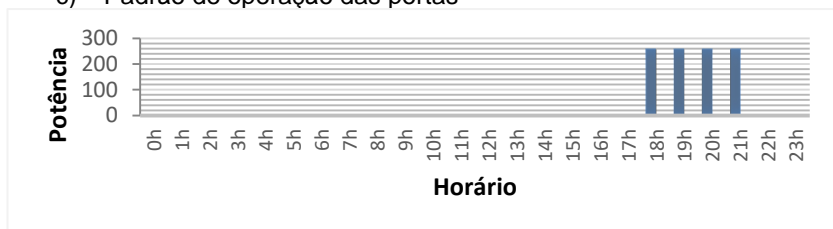
a) Padrão de ocupação



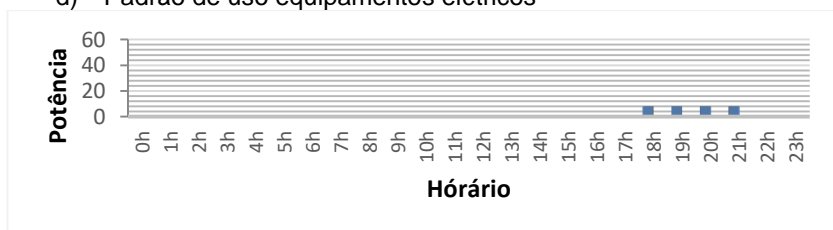
b) Padrão de operação das janelas



c) Padrão de operação das portas



d) Padrão de uso equipamentos elétricos



e) Padrão de uso iluminação

APÊNDICE C – PADRÕES DE USO ADOTADOS NA SIMULAÇÃO FINAL

Figura 42 - Sala 2 com padrão de uso 1.



a) Padrão de ocupação



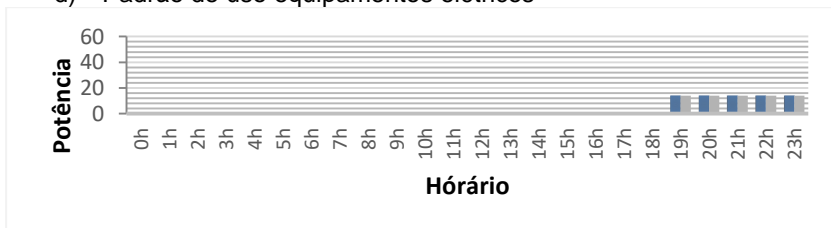
b) Padrão de operação das janelas



c) Padrão de operação das portas

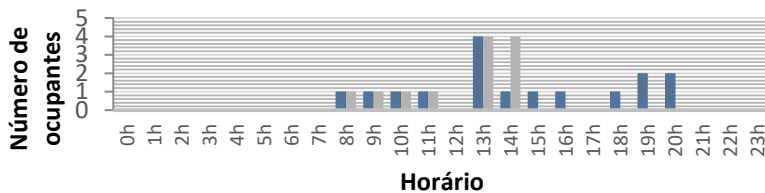


d) Padrão de uso equipamentos elétricos

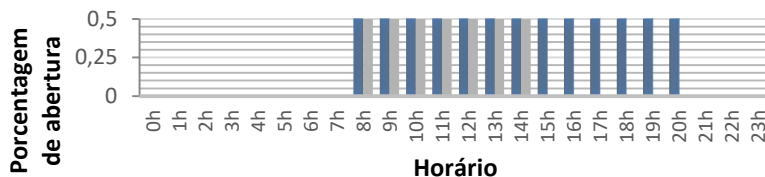


e) Padrão de uso iluminação

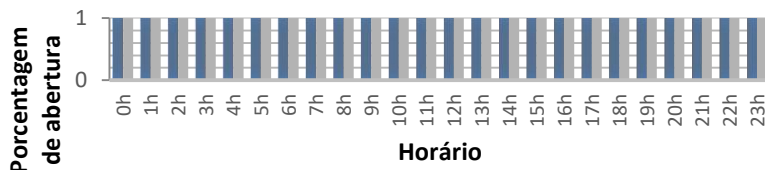
Figura 43 - Sala 2 com padrão de uso 2.



a) Padrão de ocupação



b) Padrão de operação das janelas



c) Padrão de operação das portas



d) Padrão de uso equipamentos elétricos



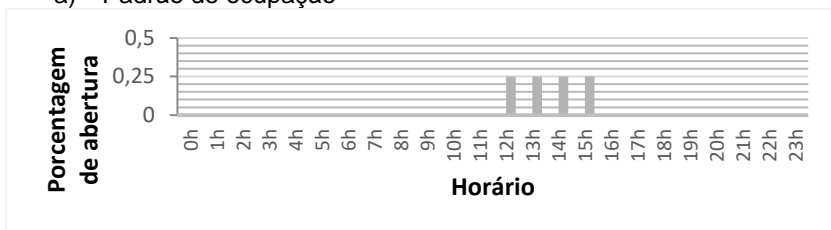
e) Padrão de uso iluminação

APÊNDICE C – PADRÕES DE USO ADOTADOS NA SIMULAÇÃO FINAL

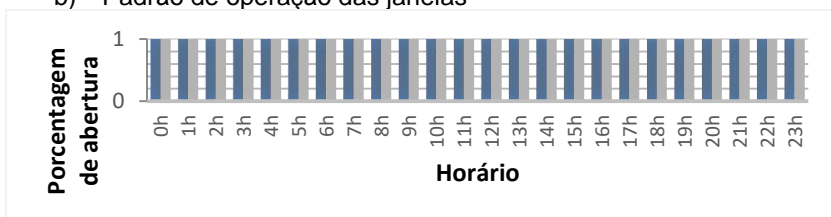
Figura 44 - Sala 2 com padrão de uso 3.



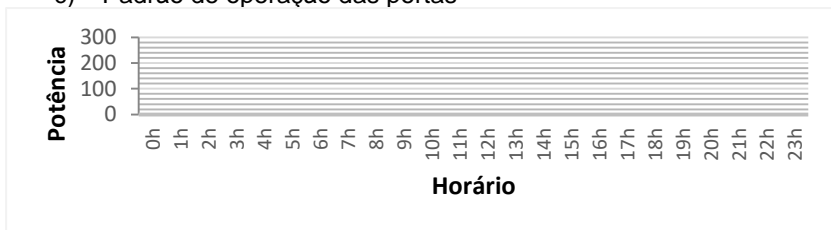
a) Padrão de ocupação



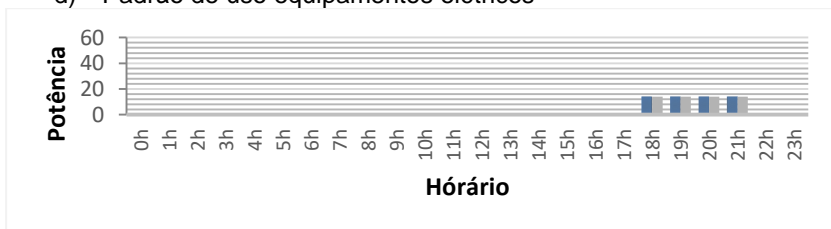
b) Padrão de operação das janelas



c) Padrão de operação das portas

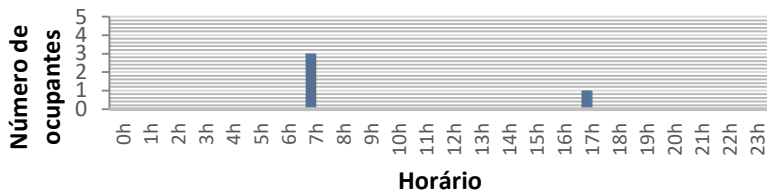


d) Padrão de uso equipamentos elétricos



e) Padrão de uso iluminação

Figura 45 - Cozinha com padrão de uso 1.



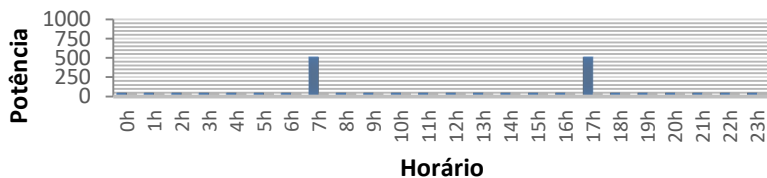
a) Padrão de ocupação



b) Padrão de operação das janelas



c) Padrão de operação das portas



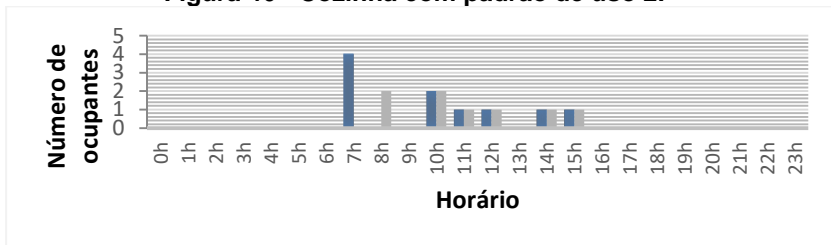
d) Padrão de uso equipamentos elétricos



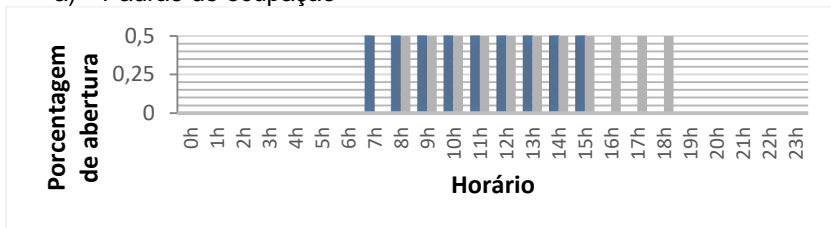
e) Padrão de uso iluminação

APÊNDICE C – PADRÕES DE USO ADOTADOS NA SIMULAÇÃO FINAL

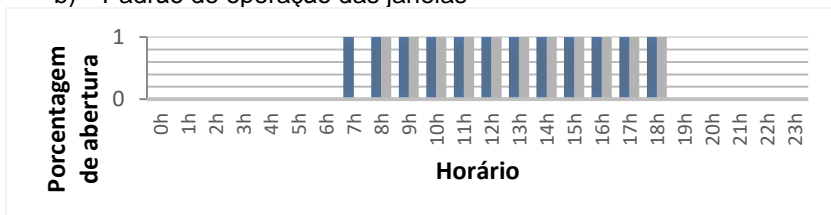
Figura 46 - Cozinha com padrão de uso 2.



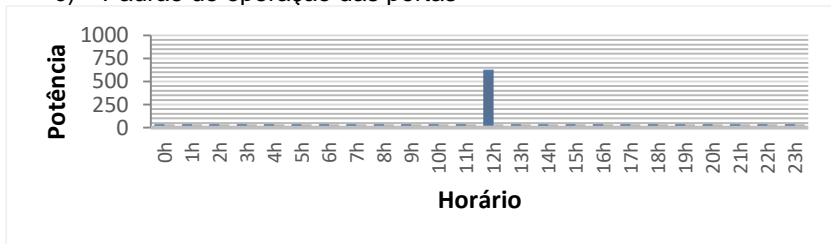
a) Padrão de ocupação



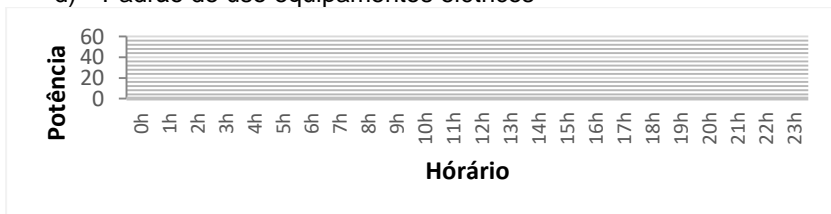
b) Padrão de operação das janelas



c) Padrão de operação das portas

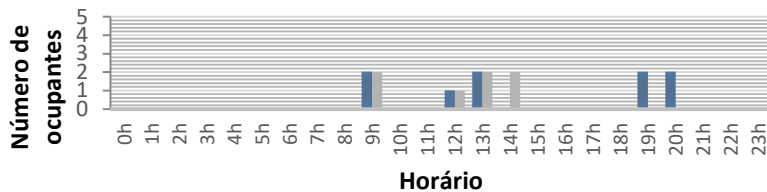


d) Padrão de uso equipamentos elétricos

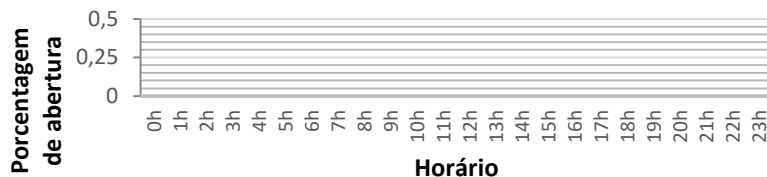


e) Padrão de uso iluminação

Figura 47 - Cozinha com padrão de uso 3.



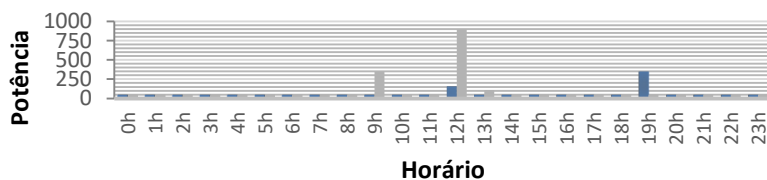
a) Padrão de ocupação



b) Padrão de operação das janelas



c) Padrão de operação das portas



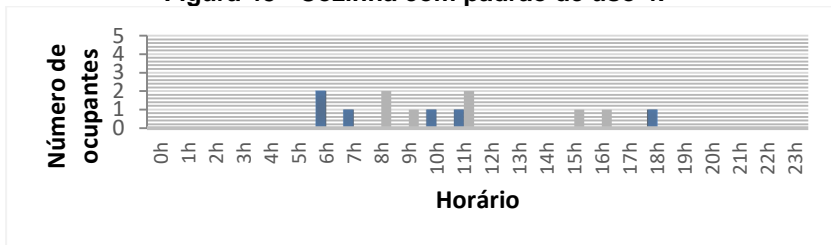
d) Padrão de uso equipamentos elétricos



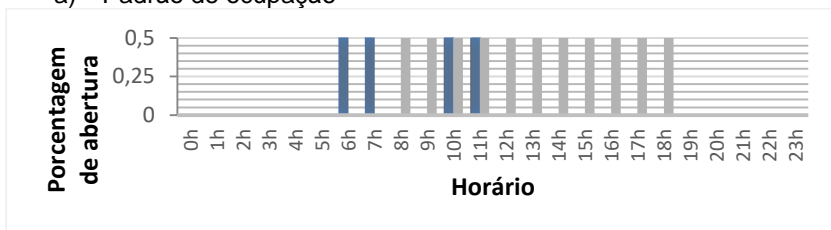
e) Padrão de uso iluminação

APÊNDICE C – PADRÕES DE USO ADOTADOS NA SIMULAÇÃO FINAL

Figura 48 - Cozinha com padrão de uso 4.



a) Padrão de ocupação



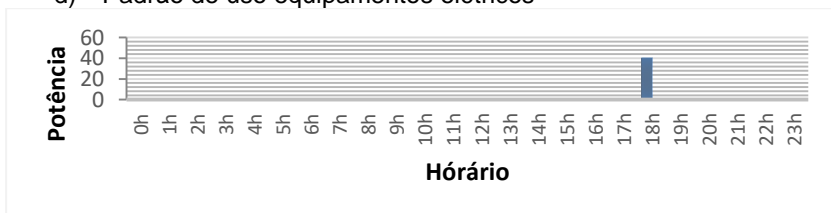
b) Padrão de operação das janelas



c) Padrão de operação das portas



d) Padrão de uso equipamentos elétricos



e) Padrão de uso iluminação

APÊNDICE D – VALORES DE CONFORTO E DESCONFORTO, CONSIDERANDO AS HORAS ANUAIS

As Tabelas 28 a 33 apresentam detalhadamente os valores dos graus-médio, horas de desconforto e as porcentagens de desconforto obtidos por meio da carta bioclimática. As Figuras 49 a 64 apresentam os valores dos graus-médio, horas de desconforto por calor e porcentagem de desconforto por meio da carta bioclimática indicados nas tabelas, mas de forma gráfica, que permitem melhor comparação entre os dados. Ressalta-se que as figuras referentes aos graus-médio e horas de desconforto correspondem ao desconforto por calor. Os valores de desconforto por frio encontram-se nas tabelas de 28 a 33.

Tabela 28 - Porcentagens de desconforto do Quarto 1.

Orientação	Padrão de uso	Graus-médio desconforto		Horas de desconforto			Carta Bioclimática Desconforto (%)		
		Calor	Frio	Calor	Frio	Total (%)	Calor (%)	Frio (%)	Total (%)
0°	Padrão de uso 1	1,21	0,23	2000	19	23	4,17	0,38	4,54
45°		1,27	0,31	2163	24	25	4,22	0,51	4,74
90°		1,32	0,34	2239	31	26	4,29	0,62	4,91
135°		1,34	0,22	2510	17	29	4,23	0,64	4,87
180°		1,24	0,36	1901	38	22	4,10	0,63	4,73
225°		1,30	0,36	1996	44	23	4,19	0,65	4,84
270°		1,32	0,35	2134	40	25	4,25	0,63	4,90
315°		1,26	0,33	2098	27	24	4,19	0,54	4,73
0°	Padrão de uso 2	1,25	0,07	2439	3	28	3,71	0,10	3,81
45°		1,30	0,12	2625	8	30	3,98	0,18	4,17
90°		1,35	0,18	2713	11	31	4,18	0,23	4,41
135°		1,37	0,21	2593	13	30	3,94	0,33	4,27
180°		1,28	0,22	2314	14	27	3,58	0,25	3,84
225°		1,33	0,22	2424	18	28	3,80	0,33	4,13
270°		1,35	0,22	2588	15	30	4,06	0,26	4,33
315°		1,30	0,17	2532	9	29	3,87	0,21	4,07

APÊNDICE D – VALORES DE CONFORTO E
DESCONFORTO, CONSIDERANDO AS HORAS ANUAIS

Tabela 29 - Porcentagens de desconforto do Quarto 2.

Orientação	Padrão de uso	Graus-médio desconforto		Horas de desconforto			Carta Bioclimática Desconforto (%)		
		Calor	Frio	Calor	Frio	Total (%)	Calor (%)	Frio (%)	Total (%)
0°	Padrão de uso 1	1,22	0,68	1420	85	17	5,88	1,39	7,27
45°		1,28	0,74	1451	94	18	5,84	1,55	7,40
90°		1,34	0,73	1603	105	19	5,52	1,62	7,15
135°		1,31	0,74	1456	116	18	5,74	1,70	7,44
180°		1,29	0,75	1379	118	17	6,00	1,72	7,73
225°		1,31	0,77	1378	125	17	6,18	1,81	7,99
270°		1,36	0,78	1521	117	19	5,99	1,75	7,74
315°		1,31	0,73	1509	104	18	6,05	1,62	7,67
0°	Padrão de uso 2	1,22	0,63	1394	77	17	5,91	1,16	7,08
45°		1,27	0,68	1428	87	17	5,86	1,32	7,18
90°		1,33	0,69	1572	96	19	5,49	1,40	6,89
135°		1,30	0,74	1425	102	17	5,70	1,51	7,20
180°		1,28	0,75	1358	103	17	6,00	1,51	7,51
225°		1,31	0,76	1354	112	17	6,12	1,60	7,72
270°		1,36	0,75	1494	107	18	5,94	1,54	7,48
315°		1,31	0,67	1481	98	18	6,05	1,35	7,40
0°	Padrão de uso 3	1,20	0,65	1351	84	16	5,82	1,34	7,16
45°		1,24	0,71	1390	93	17	5,74	1,47	7,21
90°		1,32	0,72	1526	102	19	5,43	1,58	7,01
135°		1,29	0,73	1385	114	17	5,64	1,67	7,31
180°		1,27	0,72	1310	117	16	5,89	1,67	7,56
225°		1,29	0,77	1310	121	16	6,02	1,78	7,80
270°		1,34	0,75	1441	117	18	5,90	1,70	7,60
315°		1,29	0,71	1435	102	18	5,98	1,54	7,52

Tabela 30 - Porcentagens de desconforto do Quarto 3.

Orientação	Padrão de uso	Graus-médio desconforto		Horas de desconforto			Carta Bioclimática Desconforto (%)		
		Calor	Frio	Calor	Frio	Total (%)	Calor (%)	Frio (%)	Total (%)
0°	Padrão de uso 1	1,26	0,32	1976	30	22	4,86	0,49	5,33
45°		1,32	0,37	2126	40	23	4,83	0,55	5,38
90°		1,39	0,48	2187	56	24	4,87	0,79	5,66
135°		1,36	0,55	2010	69	24	4,84	0,94	5,78
180°		1,30	0,54	1842	69	23	4,83	0,91	5,74
225°		1,34	0,54	1938	70	25	4,86	0,93	5,79
270°		1,36	0,50	2067	62	26	4,93	0,81	5,74
315°		1,30	0,42	2043	47	24	4,90	0,65	5,55
0°	Padrão de uso 2	1,36	0,20	2364	20	26	5,73	0,35	6,08
45°		1,42	0,27	2502	28	27	6,10	0,42	6,52
90°		1,47	0,37	2581	44	29	6,45	0,59	7,04
135°		1,44	0,44	2390	57	28	6,18	0,71	6,88
180°		1,39	0,44	2209	55	27	5,76	0,71	6,47
225°		1,43	0,43	2298	58	29	6,02	0,72	6,73
270°		1,45	0,42	2455	47	30	6,21	0,65	6,86
315°		1,40	0,29	2420	38	28	6,11	0,47	6,57

APÊNDICE D – VALORES DE CONFORTO E
DESCONFORTO, CONSIDERANDO AS HORAS ANUAIS

Tabela 31 - Porcentagens de desconforto do Sala 1.

Orientação	Padrão de uso	Graus-médio desconforto		Horas de desconforto			Carta Bioclimática Desconforto (%)		
		Calor	Frio	Calor	Frio	Total (%)	Calor (%)	Frio (%)	Total (%)
0°	Padrão de uso 1	0,99	0	1495	0	17	2,36	0,01	2,37
45°		1,02	0	1693	0	19	2,50	0,03	2,53
90°		1,05	0	1816	0	21	2,56	0,06	2,61
135°		1,04	0	1683	0	19	2,50	0,05	2,55
180°		1,01	0	1499	0	17	2,33	0,02	2,35
225°		1,03	0	1635	0	19	2,40	0,05	2,44
270°		1,04	0	1764	0	20	2,49	0,07	2,56
315°		1,02	0	1624	0	19	2,37	0,05	2,42
0°	Padrão de uso 2	0,99	0	1383	0	16	2,83	0,02	2,85
45°		1,02	0	1575	0	18	2,81	0,06	2,86
90°		1,05	0	1692	0	19	2,81	0,10	2,91
135°		1,02	0	1582	0	18	2,84	0,10	2,94
180°		1,01	0	1386	0	16	2,83	0,10	2,83
225°		1,01	0	1543	0	18	2,73	0,10	2,83
270°		1,05	0	1629	0	19	2,72	0,11	2,83
315°		1,01	0	1529	0	17	2,69	0,10	2,80

Tabela 32 - Porcentagens de desconforto do Sala 2.

Orientação	Padrão de uso	Graus-médio desconforto		Horas de desconforto			Carta Bioclimática Desconforto (%)		
		Calor	Frio	Calor	Frio	Total (%)	Calor (%)	Frio (%)	Total (%)
0°	Padrão de uso 1	0,96	0,20	975	14	11	4,73	0,45	5,17
45°		1,00	0,21	1077	20	13	4,28	0,49	4,77
90°		1,06	0,28	1226	20	14	3,79	0,55	4,34
135°		1,03	0,26	1110	23	13	4,19	0,55	4,74
180°		0,99	0,23	991	21	12	4,57	0,51	5,08
225°		1,02	0,28	1043	25	12	4,31	0,61	4,92
270°		1,06	0,30	1162	29	14	3,79	0,63	4,42
315°		1,01	0,26	1083	23	13	4,28	0,55	4,83
0°	Padrão de uso 2	0,97	0,13	1234	10	14	3,82	0,33	4,15
45°		1,00	0,19	1356	12	16	3,65	0,42	4,07
90°		1,05	0,21	1553	15	18	3,36	0,45	3,80
135°		1,04	0,20	1381	16	16	3,50	0,45	3,95
180°		1,00	0,22	1248	11	14	3,77	0,40	4,17
225°		1,02	0,23	1315	17	15	3,52	0,46	3,96
270°		1,06	0,24	1450	21	17	3,32	0,50	3,82
315°		1,02	0,21	1363	15	16	3,47	0,43	3,90
0°	Padrão de uso 3	0,95	0,21	1030	13	12	4,69	0,42	5,11
45°		1,00	0,24	1134	17	13	4,33	0,48	4,81
90°		1,05	0,27	1292	20	15	3,78	0,53	4,30
135°		1,03	0,25	1165	23	14	4,19	0,54	4,73
180°		0,98	0,24	1051	19	12	4,61	0,48	5,09
225°		1,01	0,27	1104	25	13	4,34	0,58	4,92
270°		1,06	0,31	1217	27	14	3,80	0,61	4,41
315°		1,01	0,25	1137	23	13	4,26	0,54	4,79

APÊNDICE D – VALORES DE CONFORTO E
DESCONFORTO, CONSIDERANDO AS HORAS ANUAIS

Tabela 33 - Porcentagens de desconforto da Cozinha.

Orientação	Padrão de uso	Graus-médio desconforto		Horas de desconforto			Carta Bioclimática Desconforto (%)		
		Calor	Frio	Calor	Frio	Total (%)	Calor (%)	Frio (%)	Total (%)
0°	Padrão de uso 1	1,08	0	2187	0	21	4,39	0,01	4,41
45°		1,15	0	2453	0	24	5,02	0,01	5,03
90°		1,23	0	2520	0	26	5,55	0,06	5,60
135°		1,19	0	2208	0	26	4,83	0,11	4,94
180°		1,12	0	1879	0	25	4,13	0,80	4,21
225°		1,15	0	2099	0	28	4,57	0,11	4,68
270°		1,19	0	2318	0	29	5,02	0,07	5,09
315°		1,13	0	2274	0	25	4,82	0,01	4,83
0°	Padrão de uso 2	1,06	0	2145	0	21	9,54	0,01	9,55
45°		1,15	0	2353	0	23	10,0	0,05	10,1
90°		1,22	0,01	2414	1	29	10,3	0,11	10,4
135°		1,16	0,11	2146	2	25	9,70	0,14	9,84
180°		1,09	0,06	1832	2	24	9,45	0,13	9,58
225°		1,13	0,10	2030	2	27	9,65	0,13	9,77
270°		1,17	0,02	2255	1	28	9,90	0,10	10,0
315°		1,12	0	2205	0	24	9,77	0,05	9,82
0°	Padrão de uso 3	1,11	0	2496	0	24	7,78	0,01	7,80
45°		1,20	0	2711	0	27	8,67	0,01	8,69
90°		1,26	0	2795	0	30	9,36	0,05	9,41
135°		1,21	0	2465	0	29	8,17	0,08	8,25
180°		1,14	0	2135	0	28	7,17	0,07	7,24
225°		1,19	0	2346	0	31	7,74	0,07	7,81
270°		1,22	0	2608	0	32	8,54	0,06	8,59
315°		1,17	0	2549	0	28	8,21	0,01	8,22
0°	Padrão de uso 4	1,12	0	2517	0	25	7,86	0,01	7,88
45°		1,21	0	2735	0	27	8,38	0,01	8,39
90°		1,29	0	2765	0	30	8,90	0,05	8,95
135°		1,22	0	2483	0	29	8,32	0,07	9,39
180°		1,11	0	2200	0	29	7,64	0,05	7,68
225°		1,17	0	2391	0	31	7,98	0,06	7,98
270°		1,21	0	2622	0	32	8,30	0,05	8,34
315°		1,16	0	2584	0	28	8,13	0,01	8,14

Figura 49 – Horas de desconforto e graus-médio por calor do quarto 1.

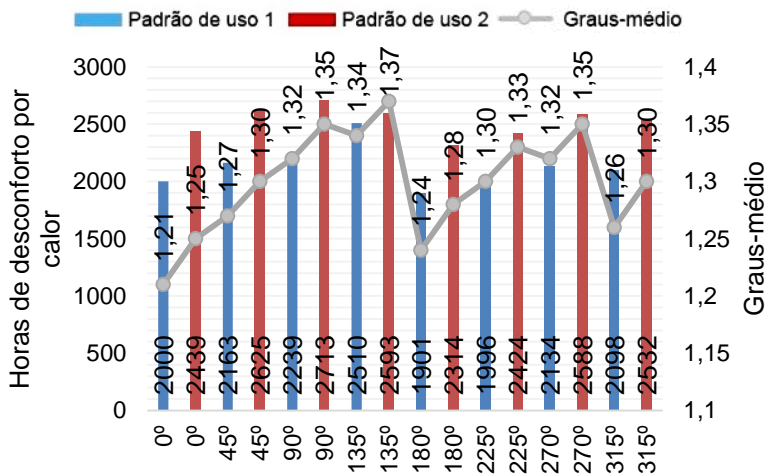
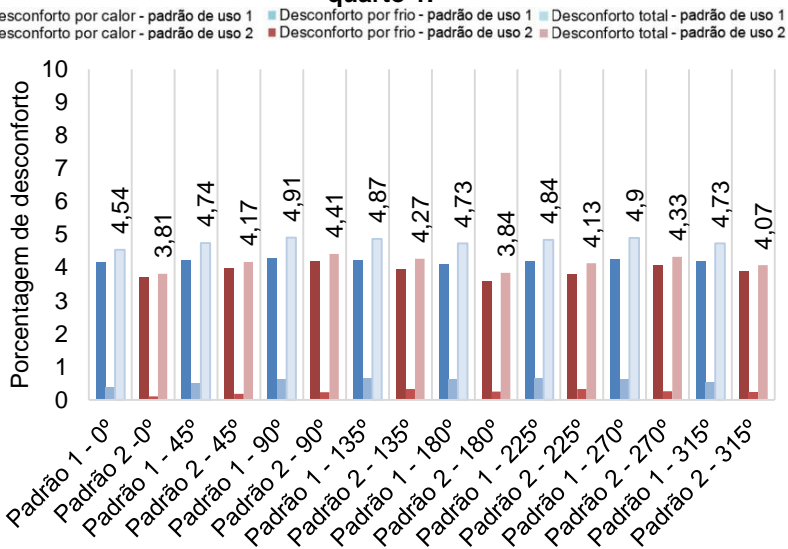


Figura 50 – Porcentagem de desconforto pela carta bioclimática do quarto 1.



APÊNDICE D – VALORES DE CONFORTO E DESCONFORTO, CONSIDERANDO AS HORAS ANUAIS

Figura 51 - Horas de desconforto e graus-médio por calor do quarto 2.

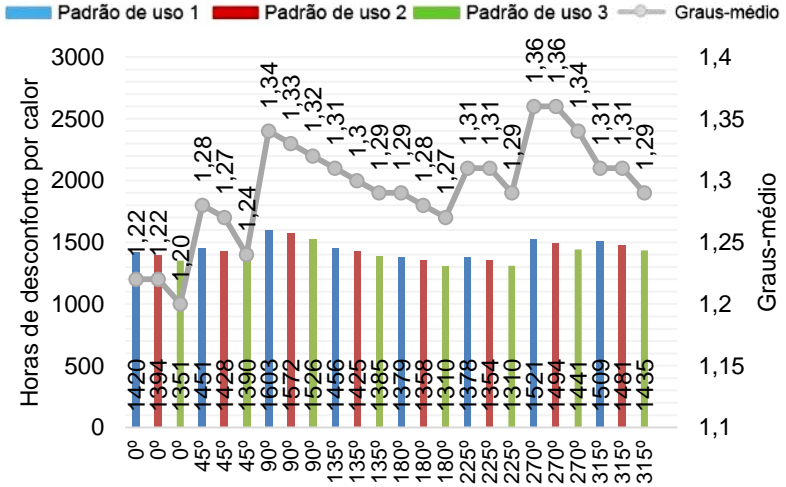


Figura 52 - Porcentagem de desconforto pela carta bioclimática do quarto 2.

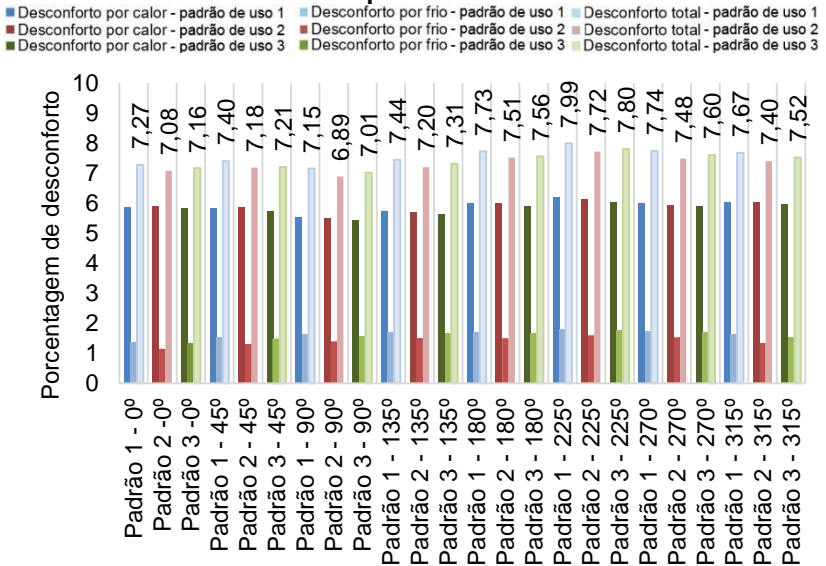


Figura 53 - Horas de desconforto e graus-médio por calor do quarto 3.

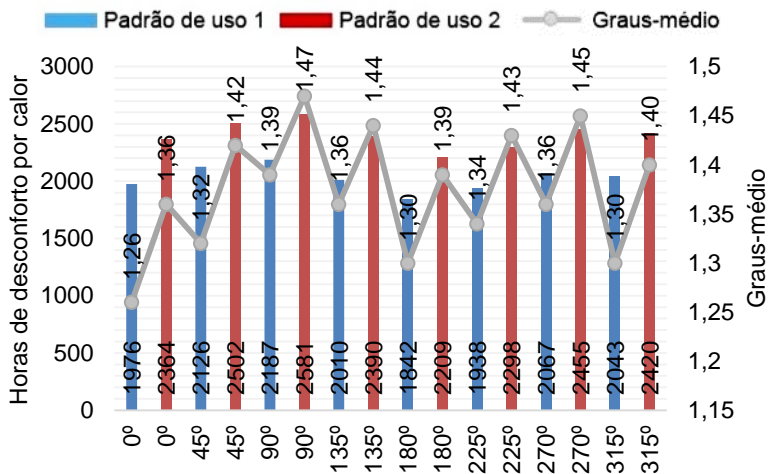
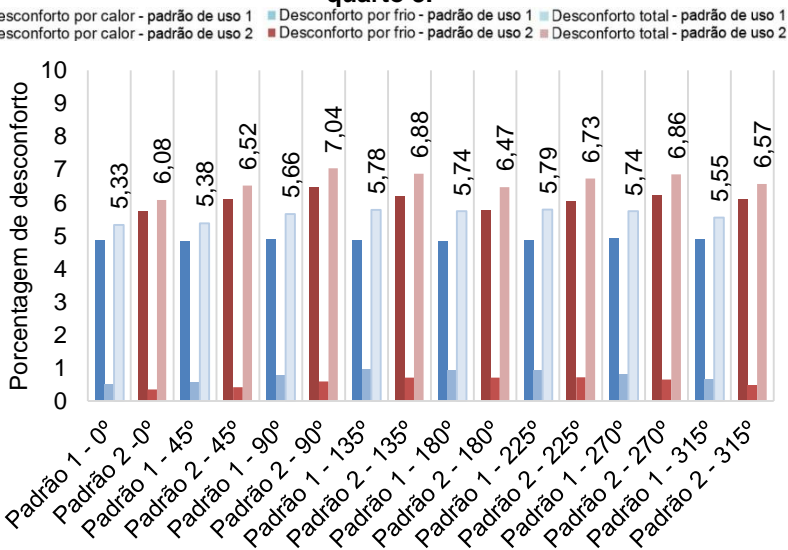


Figura 54 - Porcentagem de desconforto pela carta bioclimática do quarto 3.



APÊNDICE D – VALORES DE CONFORTO E DESCONFORTO, CONSIDERANDO AS HORAS ANUAIS

Figura 55 - Horas de desconforto e graus-médio por calor da sala 1.

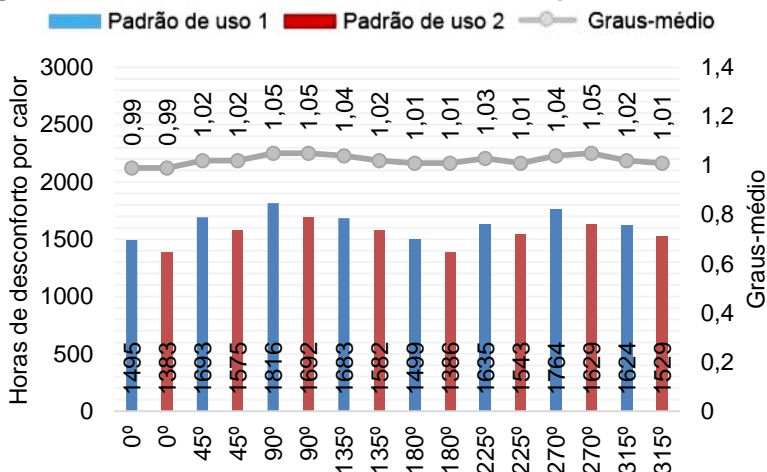


Figura 56 - Porcentagem de desconforto pela carta bioclimática da sala 1.

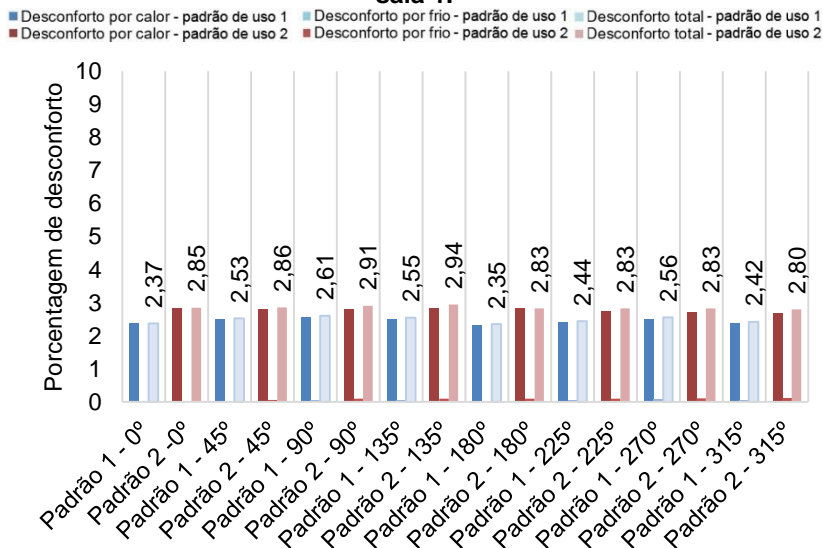


Figura 57 - Horas de desconforto e graus-médio por calor da sala 2.

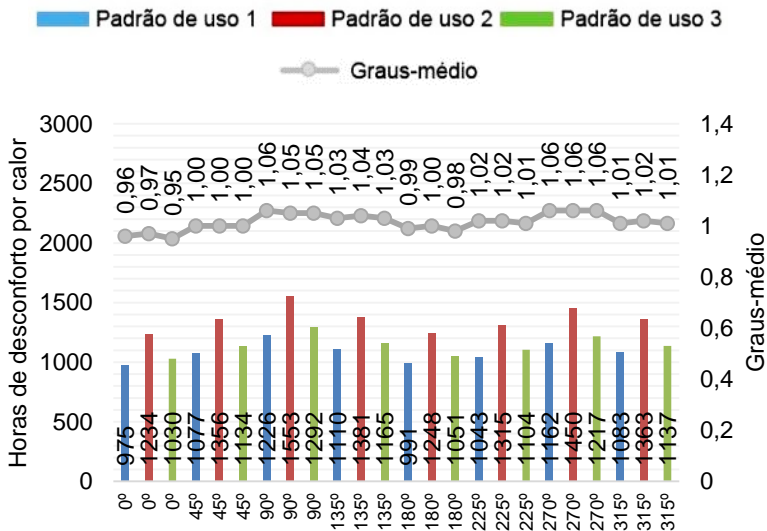
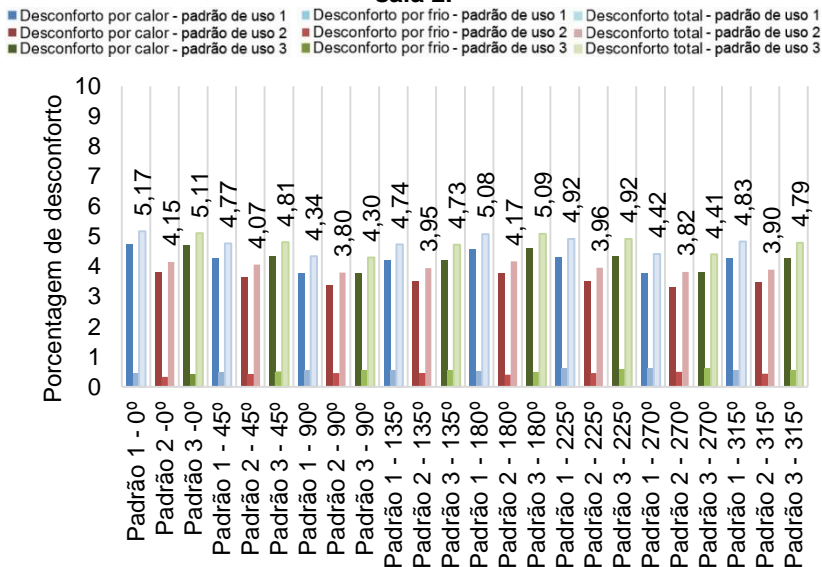


Figura 58 - Porcentagem de desconforto pela carta bioclimática da sala 2.



APÊNDICE D – VALORES DE CONFORTO E DESCONFORTO, CONSIDERANDO AS HORAS ANUAIS

Figura 59 – Horas de desconforto e graus-médio por calor na cozinha.

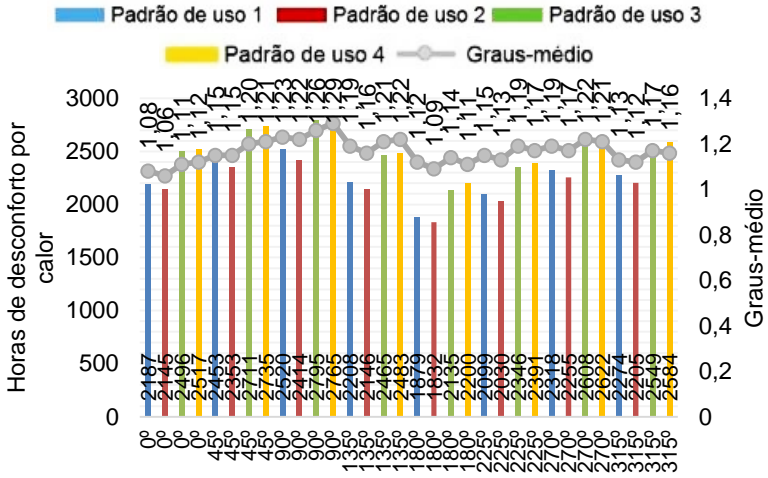
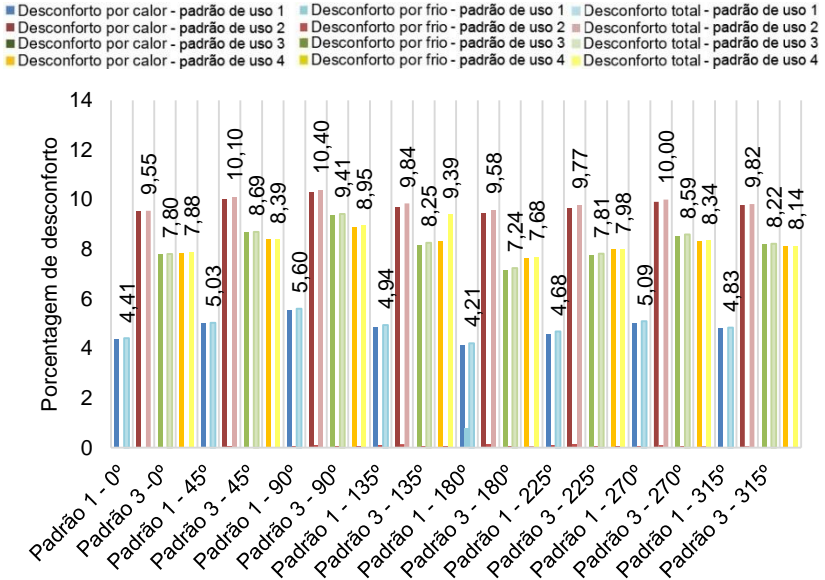
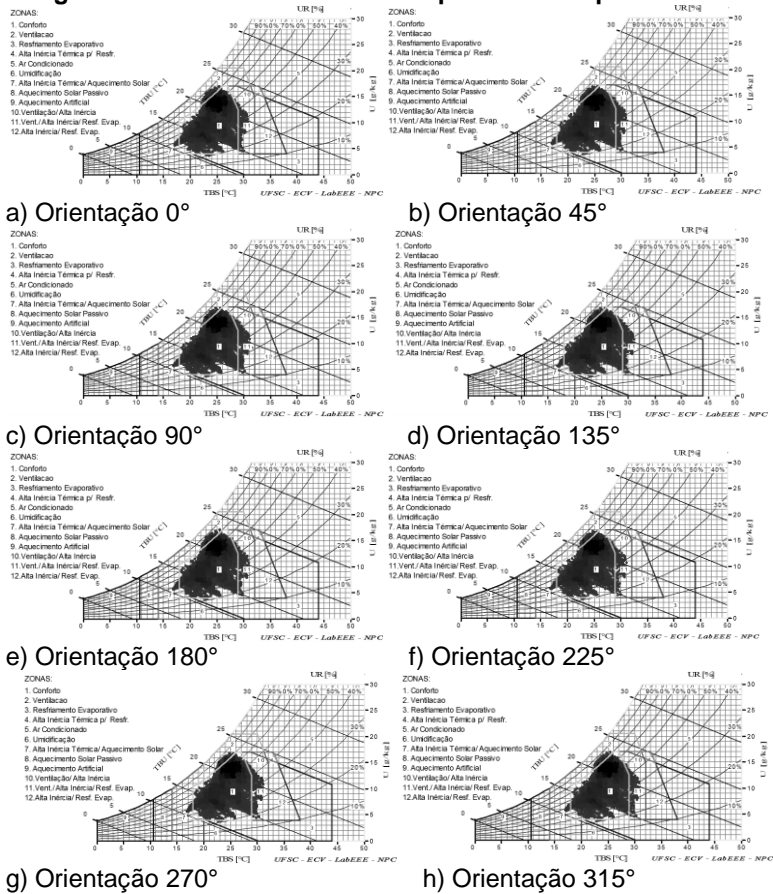


Figura 60 – Porcentagem de desconforto pela carta bioclimática da cozinha.



APÊNDICE E – CARTA BIOCLIMÁTICA DOS DADOS SIMULADOS, CONSIDERANDO AS HORAS ANUAIS

Figura 61 - Carta bioclimática do quarto 1 com padrão de uso 1.



APÊNDICE E – CARTA BIOCLIMÁTICA DOS DADOS SIMULADOS, CONSIDERANDO AS HORAS ANUAIS

Figura 62 - Carta bioclimática do quarto 1 com padrão de uso 2.

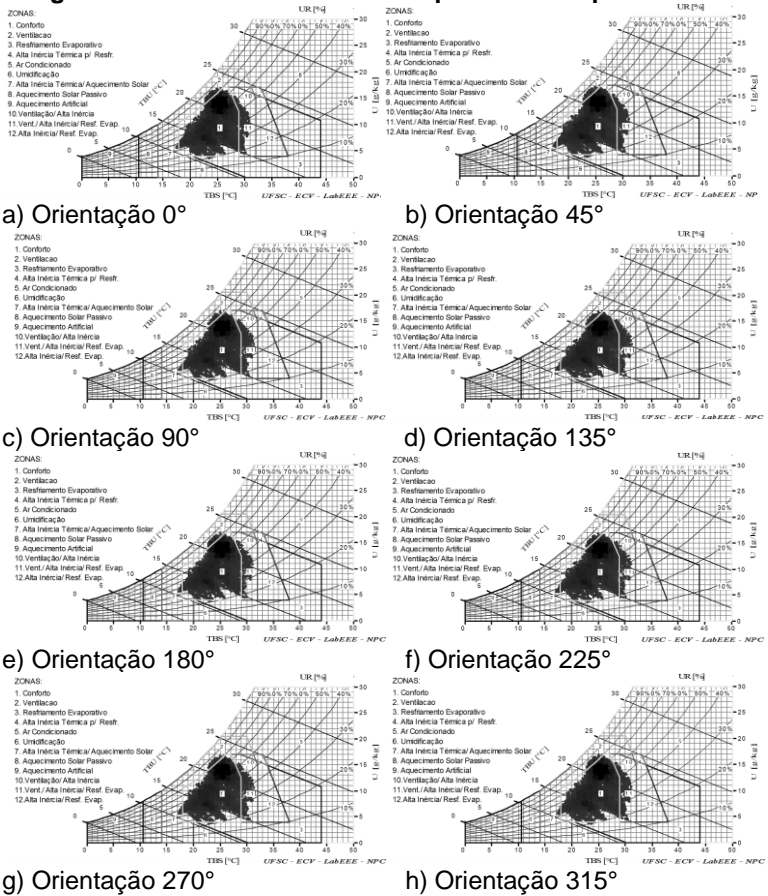
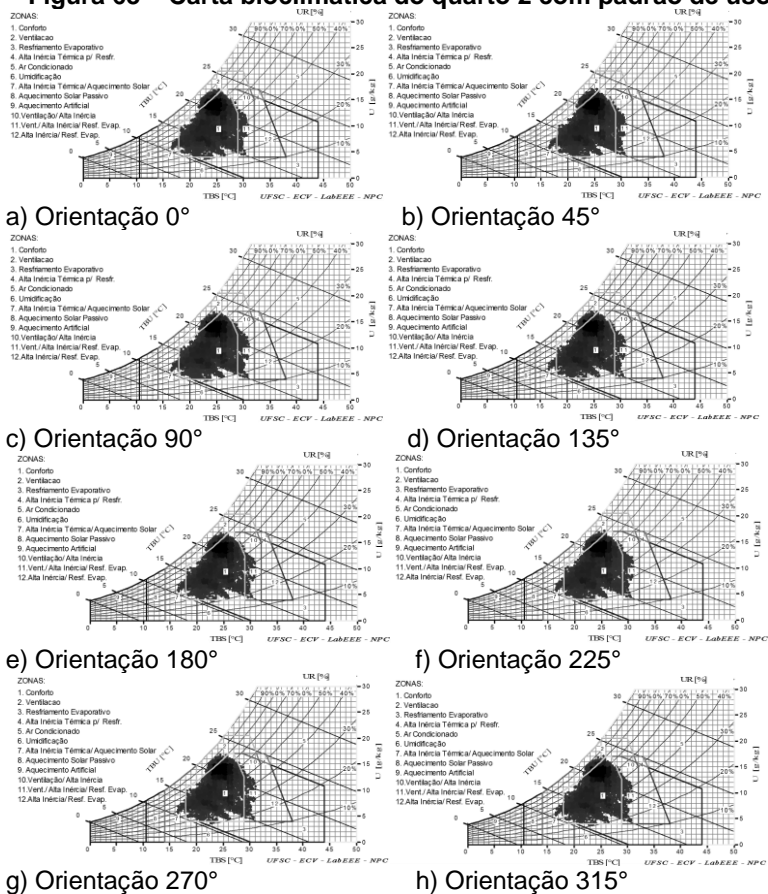


Figura 63 – Carta bioclimática do quarto 2 com padrão de uso 1.



APÊNDICE E – CARTA BIOLIMÁTICA DOS DADOS SIMULADOS, CONSIDERANDO AS HORAS ANUAIS

Figura 64 - Carta bioclimática do quarto 2 com padrão de uso 2.

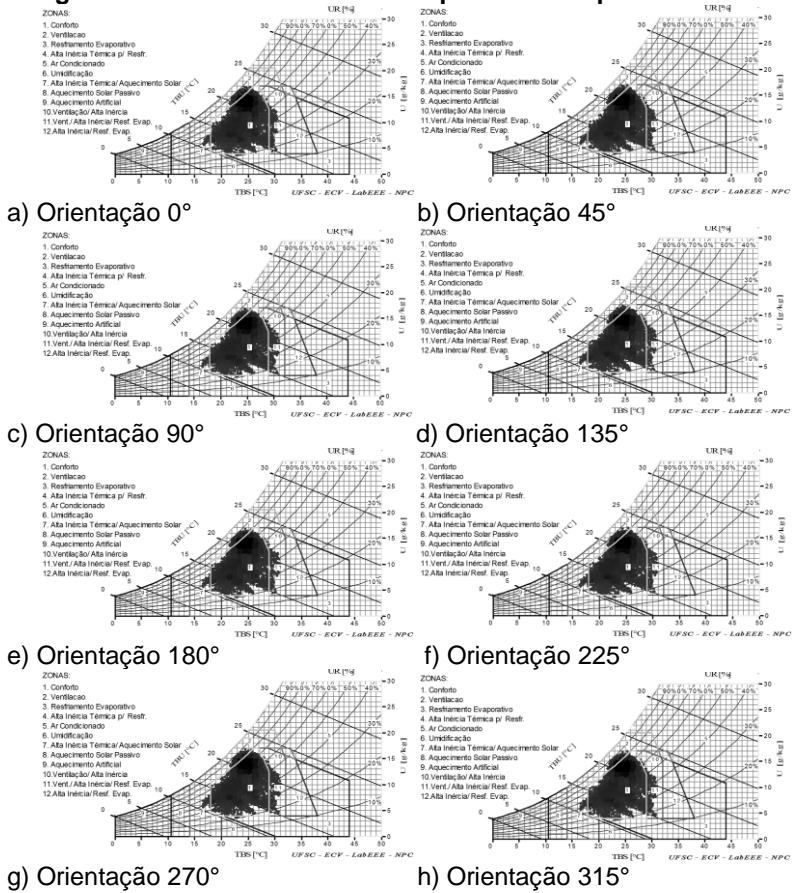
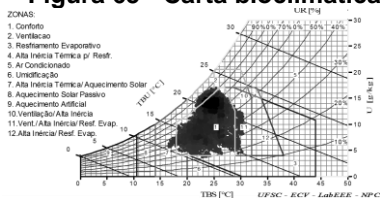
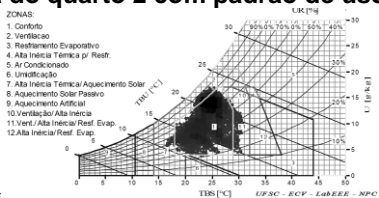


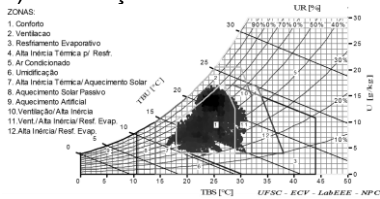
Figura 65 - Carta bioclimática do quarto 2 com padrão de uso 3.



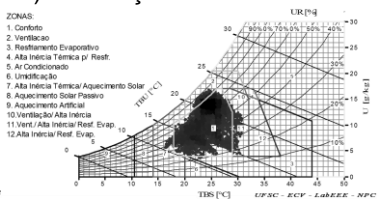
a) Orientação 0°



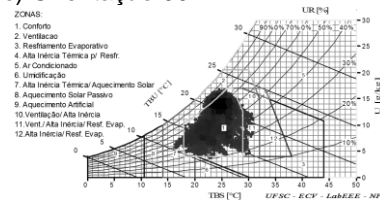
b) Orientação 45°



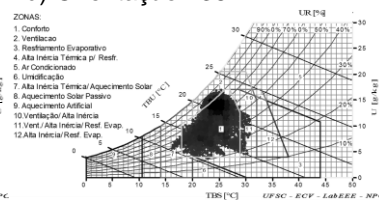
c) Orientação 90°



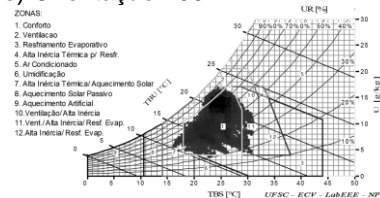
d) Orientação 135°



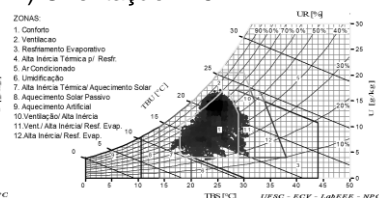
e) Orientação 180°



f) Orientação 225°



g) Orientação 270°



h) Orientação 315°

APÊNDICE E – CARTA BIOCLIMÁTICA DOS DADOS SIMULADOS, CONSIDERANDO AS HORAS ANUAIS

Figura 66 - Carta bioclimática do quarto 3 com padrão de uso 1.

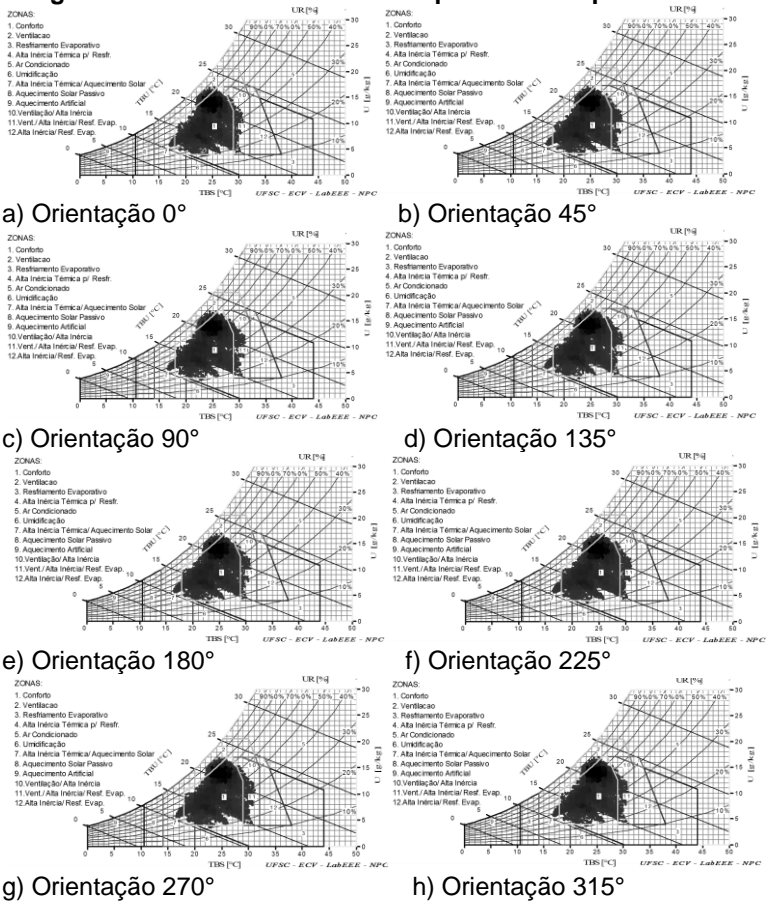
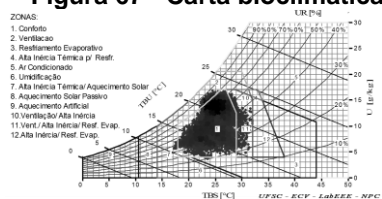
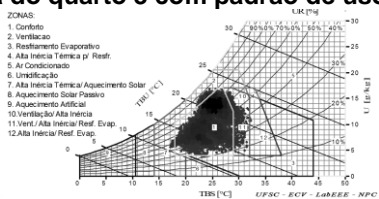


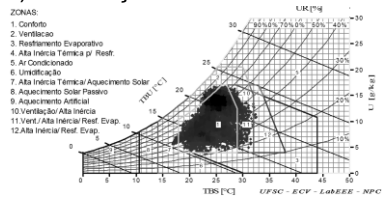
Figura 67 - Carta bioclimática do quarto 3 com padrão de uso 2.



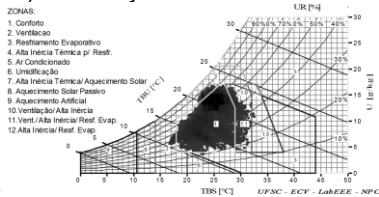
a) Orientação 0°



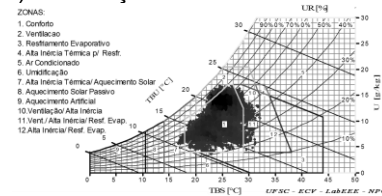
b) Orientação 45°



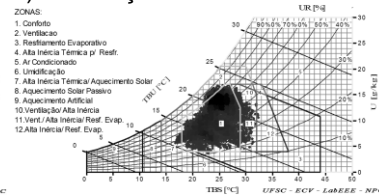
c) Orientação 90°



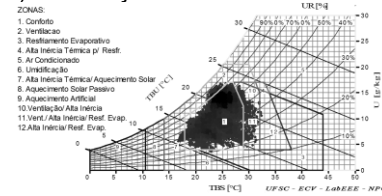
d) Orientação 135°



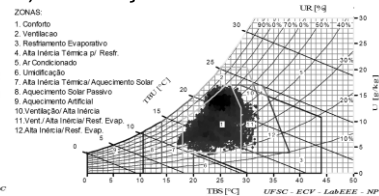
e) Orientação 180°



f) Orientação 225°



g) Orientação 270°



h) Orientação 315°

APÊNDICE E – CARTA BIOCLIMÁTICA DOS DADOS SIMULADOS, CONSIDERANDO AS HORAS ANUAIS

Figura 68 - Carta bioclimática da sala 1 com padrão de uso 1.

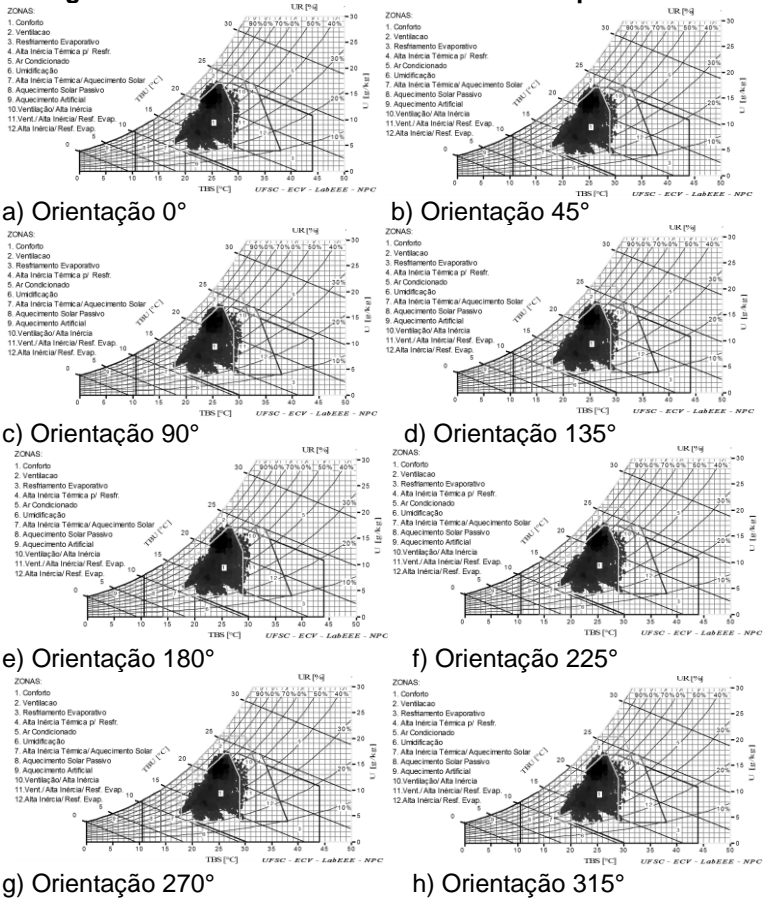
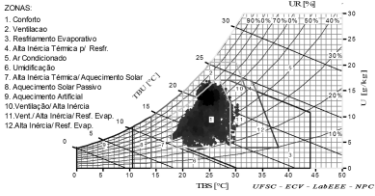
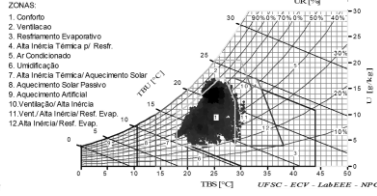


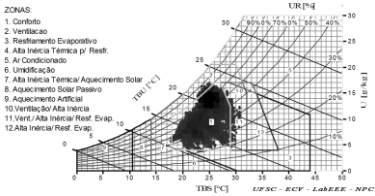
Figura 69 - Carta bioclimática da sala 1 com padrão de uso 2.



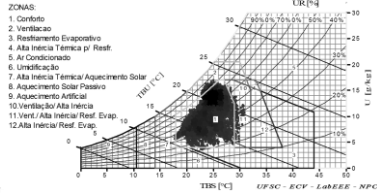
a) Orientação 0°



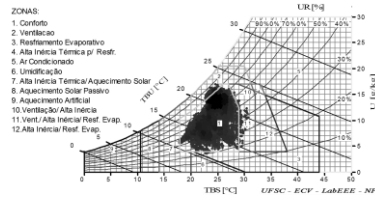
b) Orientação 45°



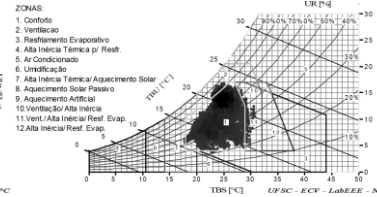
c) Orientação 90°



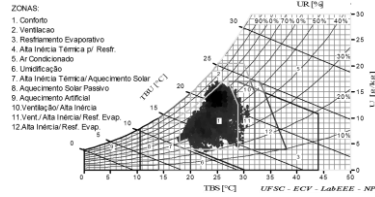
d) Orientação 135°



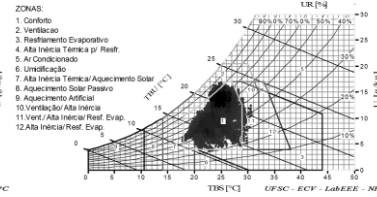
e) Orientação 180°



f) Orientação 225°



g) Orientação 270°



h) Orientação 315°

APÊNDICE E – CARTA BIOCLIMÁTICA DOS DADOS SIMULADOS, CONSIDERANDO AS HORAS ANUAIS

Figura 70 - Carta bioclimática da sala 2 com padrão de uso 1.

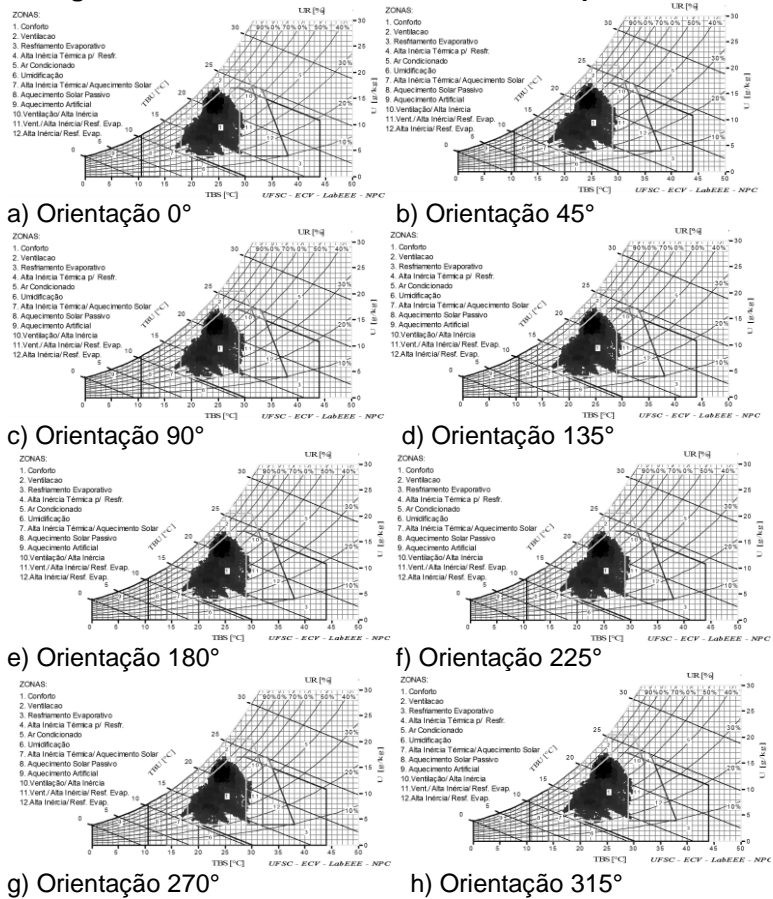
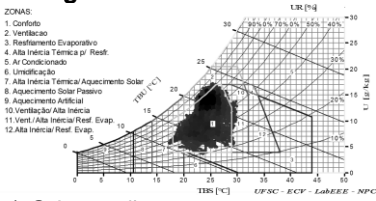
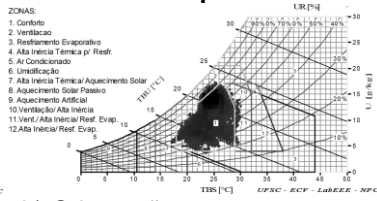


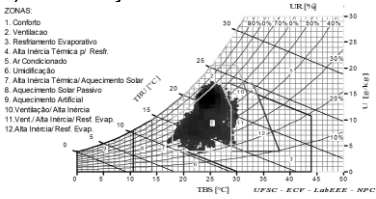
Figura 71 - Carta bioclimática da sala 2 com padrão de uso 2.



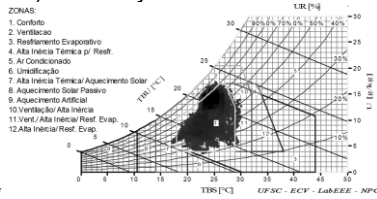
a) Orientação 0°



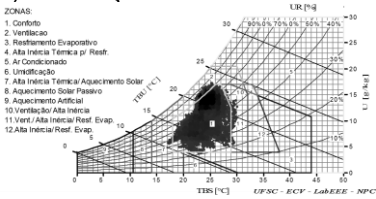
b) Orientação 45°



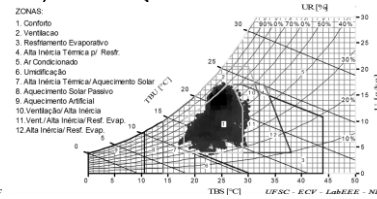
c) Orientação 90°



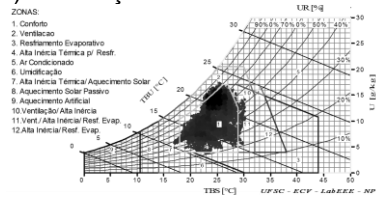
d) Orientação 135°



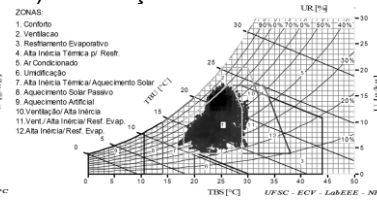
e) Orientação 180°



f) Orientação 225°



g) Orientação 270°



h) Orientação 315°

APÊNDICE E – CARTA BIOCLIMÁTICA DOS DADOS SIMULADOS, CONSIDERANDO AS HORAS ANUAIS

Figura 72 - Carta bioclimática da sala 2 com padrão de uso 3.

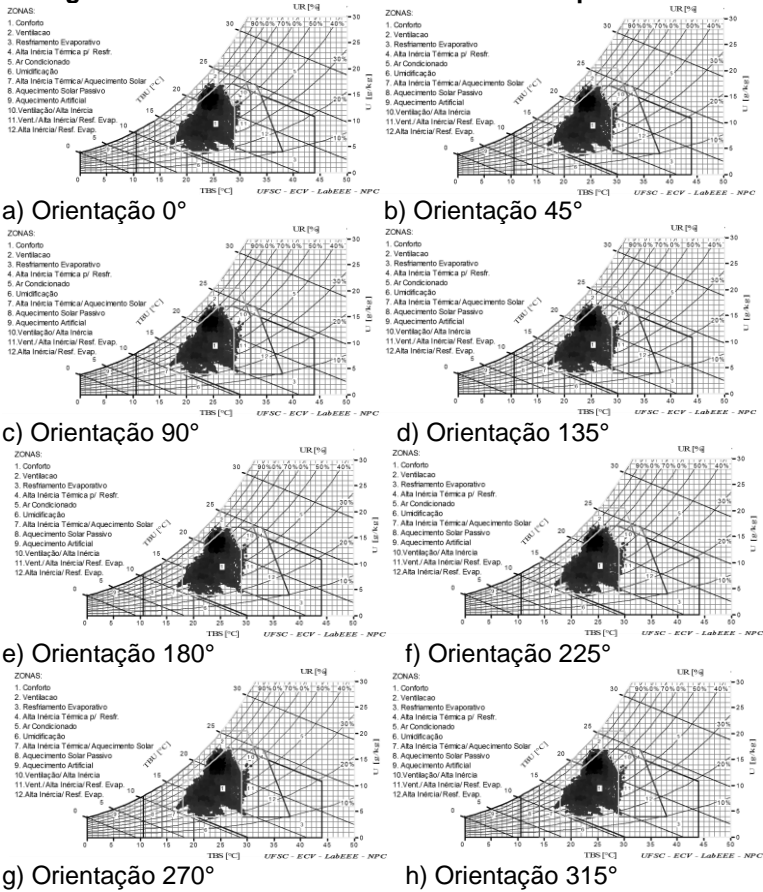
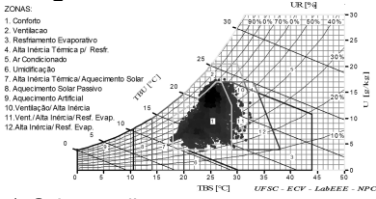
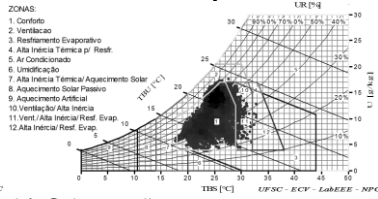


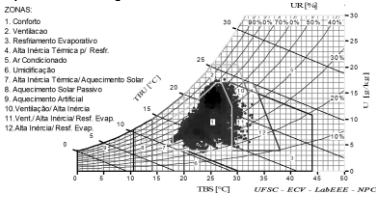
Figura 73 - Carta bioclimática da cozinha com padrão de uso 1.



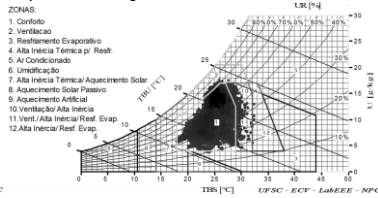
a) Orientação 0°



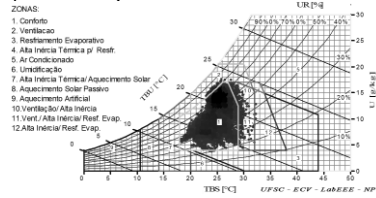
b) Orientação 45°



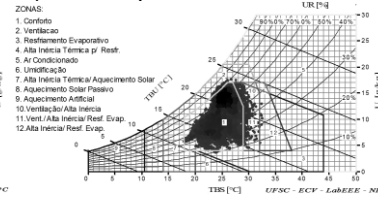
c) Orientação 90°



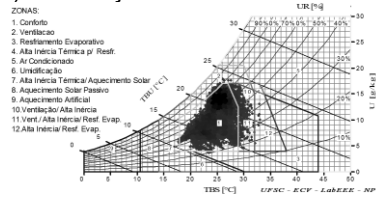
d) Orientação 135°



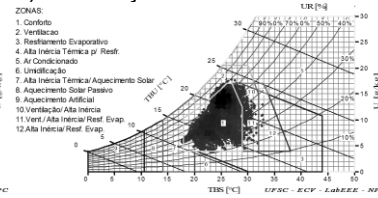
e) Orientação 180°



f) Orientação 225°



g) Orientação 270°



h) Orientação 315°

APÊNDICE E – CARTA BIOCLIMÁTICA DOS DADOS SIMULADOS, CONSIDERANDO AS HORAS ANUAIS

Figura 74 - Carta bioclimática da cozinha com padrão de uso 2.

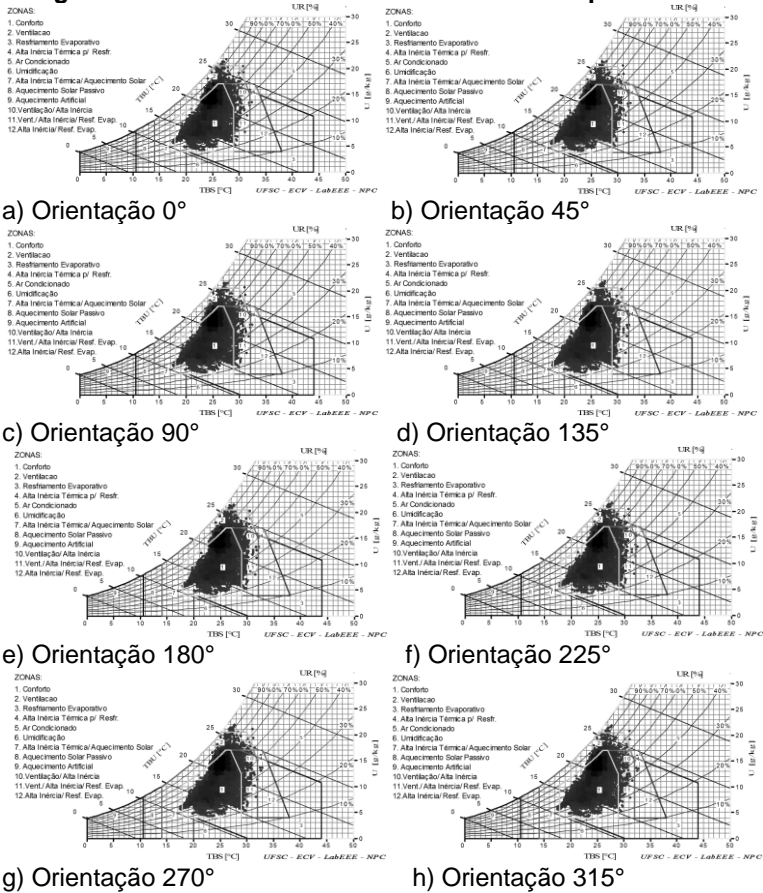
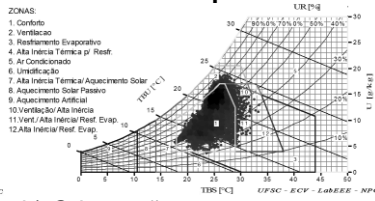
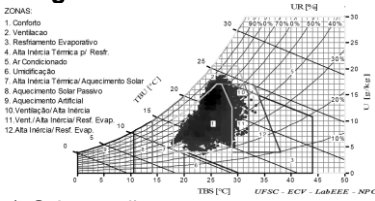
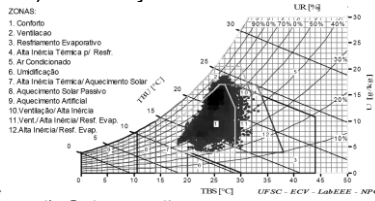
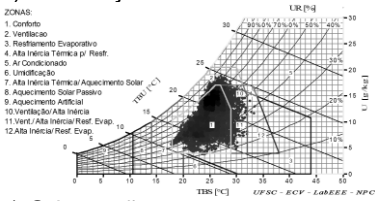


Figura 75 - Carta bioclimática da cozinha com padrão de uso 3.



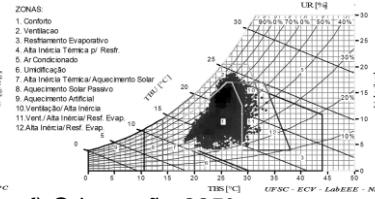
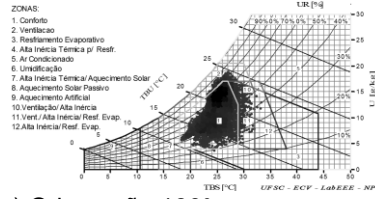
a) Orientação 0°

b) Orientação 45°



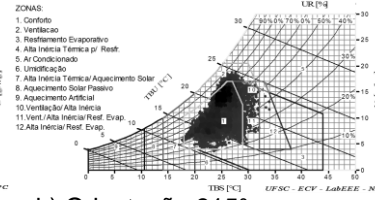
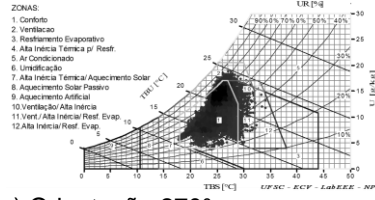
c) Orientação 90°

d) Orientação 135°



e) Orientação 180°

f) Orientação 225°

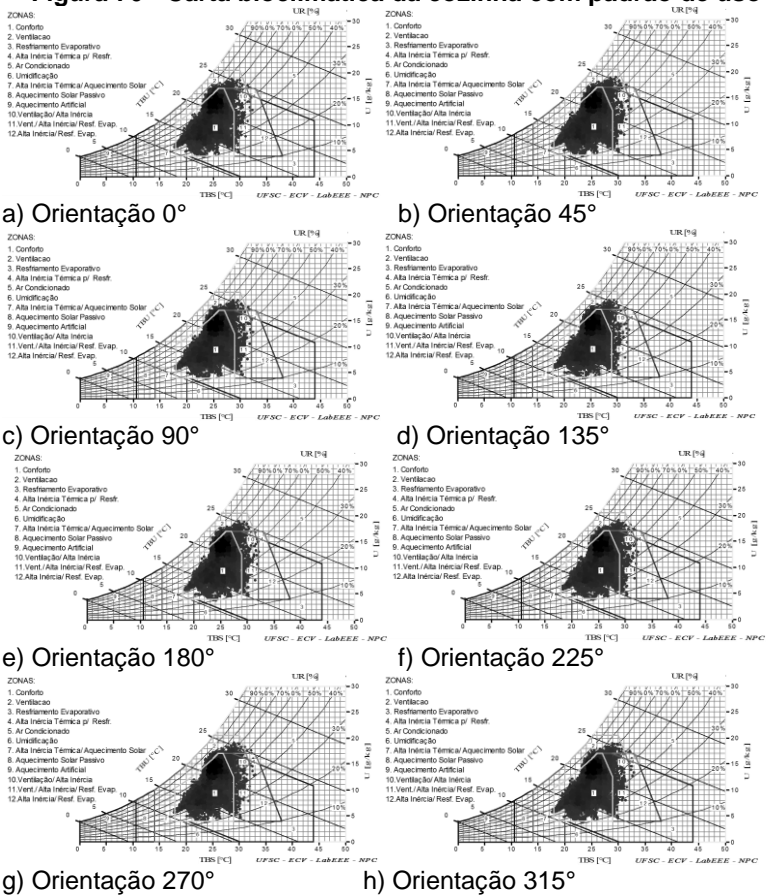


g) Orientação 270°

h) Orientação 315°

APÊNDICE E – CARTA BIOCLIMÁTICA DOS DADOS SIMULADOS, CONSIDERANDO AS HORAS ANUAIS

Figura 76 - Carta bioclimática da cozinha com padrão de uso 4.



APÊNDICE F – VALORES DE CONFORTO E DESCONFORTO, CONSIDERANDO AS HORAS OCUPADAS

As Tabelas 34 a 38 apresentam os valores dos graus-médio, horas de desconforto e as porcentagens de desconforto obtidos por meio da carta bioclimática. As Figuras 77 a 88 apresentam os valores dos graus-médio, horas de desconforto e porcentagem de desconforto por meio da carta bioclimática indicados nas tabelas, mas de forma gráfica. As figuras referentes aos graus-médio e horas de desconforto correspondem ao desconforto por calor, uma vez que os casos analisados apresentaram pouco ou nenhum desconforto por frio.

Tabela 34 - Porcentagens de desconforto do quarto 1, considerando as horas ocupadas.

Orientação	Padrão de uso	Graus-médio		Horas de desconforto			Carta Bioclimática Desconforto (%)		
		Calor	Frio	Calor	Frio	Total (%)	Calor (%)	Frio (%)	Total (%)
0°	Padrão de uso 2 (3.754 horas ocupadas)	1,19	0	929	0	25	2,16	0,02	2,18
45°		1,23	0	999	0	27	2,32	0,13	2,45
90°		1,26	0	1041	0	28	2,69	0,16	2,85
135°		1,28	0	1005	0	27	2,5	0,27	2,77
180°		1,22	0	898	0	24	2,29	0,16	2,45
225°		1,24	0	960	0	26	2,45	0,27	2,72
270°		1,27	0	1016	0	27	2,37	0,13	2,50
315°		1,23	0	981	0	26	2,37	0,13	2,50

APÊNDICE F – VALORES DE CONFORTO E
DESCONFORTO, CONSIDERANDO AS HORAS
OCUPADAS

**Tabela 35 - Porcentagens de desconforto do quarto 2,
considerando as horas ocupadas.**

Orientação	Padrão de uso	Graus-médio		Horas de desconforto			Carta Bioclimática Desconforto (%)		
		Calor	Frio	Calor	Frio	Total (%)	Calor (%)	Frio (%)	Total (%)
0°	Padrão de uso 1 (3.024 horas ocupadas)	1,02	0,56	118	32	5	3,54	2,05	5,59
45°		1,07	0,64	119	37	5	3,37	2,35	5,72
90°		1,05	0,62	137	43	6	3,04	2,51	5,55
135°		1,03	0,62	129	45	6	3,27	2,58	5,85
180°		1,01	0,63	121	45	5	3,54	2,61	6,15
225°		1,03	0,67	123	47	6	3,37	2,71	6,08
270°		1,04	0,65	137	45	6	3,04	2,26	5,69
315°		1,04	0,63	128	37	5	3,21	2,35	5,55
0°	Padrão de uso 2 (3.232 horas ocupadas)	1,01	0,52	117	36	5	3,97	1,82	5,78
45°		1,05	0,59	119	43	5	3,93	2,10	6,03
90°		1,05	0,65	135	44	6	3,34	2,17	5,51
135°		1,03	0,67	128	45	5	3,68	2,29	5,97
180°		1,01	0,69	120	45	5	4,18	2,29	6,46
225°		1,03	0,70	121	49	5	4,02	2,41	6,43
270°		1,03	0,68	136	47	6	3,46	2,32	5,78
315°		1,04	0,59	127	43	5	3,71	2,01	5,72
0°	Padrão de uso 3 (3.128 horas ocupadas)	1,01	0,47	146	25	5	3,26	1,63	4,89
45°		1,04	0,54	151	30	6	3,23	1,82	5,05
90°		1,06	0,56	166	33	6	3,04	1,92	4,95
135°		1,05	0,53	155	37	6	3,20	1,98	5,18
180°		1,05	0,54	144	37	6	3,36	1,98	5,34
225°		1,05	0,61	147	37	6	3,23	2,11	5,34
270°		1,05	0,56	166	37	6	3,07	2,01	5,08
315°		1,03	0,55	159	29	6	3,16	1,82	4,99

Tabela 36 - Porcentagens de desconforto do quarto 3, considerando as horas ocupadas.

Orientação	Padrão de uso	Graus-médio		Horas de desconforto			Carta Bioclimática Desconforto (%)		
		Calor	Frio	Calor	Frio	Total (%)	Calor (%)	Frio (%)	Total (%)
0°	Padrão de uso 1 (2.610 horas ocupadas)	1,22	0,34	497	9	19	2,91	0,61	3,52
45°		1,25	0,35	528	9	21	3,10	0,61	3,72
90°		1,26	0,27	570	8	22	3,18	0,50	3,68
135°		1,22	0,19	550	5	21	2,99	0,34	3,33
180°		1,20	0,11	520	2	20	2,83	0,23	3,06
225°		1,23	0,17	567	5	22	3,10	0,35	3,45
270°		1,26	0,28	596	8	23	3,18	0,50	3,68
315°		1,26	0,37	543	9	21	3,06	0,61	3,68
0°	Padrão de uso 2 (4.433 horas ocupadas)	1,37	0,32	1159	17	27	5,03	0,56	5,59
45°		1,42	0,33	1208	17	28	5,80	0,49	6,29
90°		1,43	0,31	1299	13	30	5,80	0,49	6,29
135°		1,39	0,17	1278	9	29	5,44	0,34	5,77
180°		1,35	0,14	1239	3	28	4,96	0,27	5,23
225°		1,41	0,17	1298	8	29	5,57	0,31	5,89
270°		1,45	0,29	1331	14	30	6,00	0,49	6,50
315°		1,43	0,35	1239	17	28	5,62	0,58	6,20

APÊNDICE F – VALORES DE CONFORTO E
DESCONFORTO, CONSIDERANDO AS HORAS
OCUPADAS

Tabela 37 - Porcentagens de desconforto da sala 1, considerando as horas ocupadas.

Orientação	Padrão de uso	Graus-médio		Horas de desconforto			Carta Bioclimática Desconforto (%)		
		Calor	Frio	Calor	Frio	Total (%)	Calor (%)	Frio (%)	Total (%)
0°	Padrão de uso 1 (1.719 horas ocupadas)	1,08	0	402	0	23	3,31	0,05	3,37
45°		1,10	0	450	0	26	3,66	0,05	3,72
90°		1,12	0	484	0	28	4,13	0,05	4,19
135°		1,10	0	451	0	26	3,95	0,05	4,01
180°		1,09	0	404	0	24	3,37	0,05	3,43
225°		1,09	0	444	0	26	3,72	0,05	3,78
270°		1,11	0	472	0	27	3,90	0,05	3,95
315°		1,09	0	440	0	26	3,49	0,05	3,55
0°	Padrão de uso 2 (1.044 horas ocupadas)	1,02	0	322	0	31	5,07	0,09	5,17
45°		1,06	0	352	0	34	5,65	0,09	5,74
90°		1,06	0	383	0	37	5,55	0,09	5,65
135°		1,06	0	351	0	34	5,65	0,09	5,74
180°		1,06	0	312	0	30	4,88	0,09	4,98
225°		1,04	0	351	0	34	5,45	0,09	5,55
270°		1,08	0	364	0	35	5,45	0,09	5,55
315°		1,04	0	348	0	33	5,62	0,09	5,72

Tabela 38 - Porcentagens de desconforto da sala 2, considerando as horas ocupadas.

Orientação	Padrão de uso	Graus-médio		Horas de desconforto			Carta Bioclimática Desconforto (%)		
		Calor	Frio	Calor	Frio	Total (%)	Calor (%)	Frio (%)	Total (%)
0°	Padrão de uso 2 (3.495 horas ocupadas)	0,94	0,12	588	6	17	4,12	0,31	4,43
45°		0,99	0,19	642	6	19	3,80	0,40	4,20
90°		1,04	0,22	748	7	22	3,83	0,40	4,23
135°		1,04	0,22	653	8	19	3,72	0,43	4,15
180°		0,98	0,24	589	6	17	4,03	0,40	4,43
225°		1,01	0,25	610	9	18	3,83	0,42	4,26
270°		1,05	0,28	668	10	19	3,78	0,42	4,20
315°		1,01	0,23	631	8	18	3,80	0,43	4,23
0°	Padrão de uso 3 (208 horas ocupadas)	0,94	0	47	0	23	4,31	0,47	4,78
45°		1,02	0	50	0	24	4,78	0,47	5,26
90°		1,08	0	52	0	25	5,74	0,47	6,22
135°		1,10	0	49	0	24	5,26	0,47	5,74
180°		1,01	0	46	0	22	4,78	0,47	5,26
225°		1,00	0	49	0	24	4,78	0,47	5,26
270°		1,08	0	51	0	25	5,26	0,47	5,74
315°		1,02	0	49	0	24	4,78	0,47	5,26

**APÊNDICE F – VALORES DE CONFORTO E
DESCONFORTO, CONSIDERANDO AS HORAS
OCUPADAS**

Tabela 39 - Porcentagens de desconforto da cozinha, considerando as horas ocupadas.

Orientação	Padrão de uso	Graus-médio		Horas de desconforto			Carta Bioclimática Desconforto (%)		
		Calor	Frio	Calor	Frio	Total (%)	Calor (%)	Frio (%)	Total (%)
0°	Padrão de uso 1 (522 horas ocupadas)	1,05	0	105	0	20	2,49	0,57	3,06
45°		1,07	0	131	0	25	2,68	0,76	3,44
90°		1,12	0	147	0	28	3,25	0,57	3,82
135°		1,09	0	139	0	27	2,87	0,19	3,06
180°		1,06	0	127	0	25	2,49	0,19	2,68
225°		1,11	0	141	0	27	3,44	0,19	3,63
270°		1,13	0	150	0	29	3,06	0,57	3,63
315°		1,12	0	128	0	25	2,87	0,76	3,63
0°	Padrão de uso 2 (2.190 horas ocupadas)	1,02	0,04	486	1	22	13,70	0,22	13,90
45°		1,04	0,07	539	1	25	13,70	0,22	13,90
90°		1,08	0	597	0	27	13,80	0,22	14,10
135°		1,04	0	586	0	27	13,80	0,13	14,00
180°		0,98	0	592	0	27	13,20	0,04	13,30
225°		1,08	0	688	0	31	14,30	0,13	14,40
270°		1,18	0,01	714	1	33	15,20	0,22	15,50
315°		1,08	0,10	629	1	29	14,00	0,22	14,20
0°	Padrão de uso 3 (1.721 horas ocupadas)	1,26	0	549	0	32	12,20	0,05	12,35
45°		1,31	0	579	0	34	13,00	0,05	13,05
90°		1,35	0	621	0	36	14,10	0,05	14,15
135°		1,31	0	623	0	36	13,60	0,05	13,65
180°		1,25	0	645	0	37	13,20	0,05	13,25
225°		1,34	0	703	0	41	15,10	0,05	15,15
270°		1,40	0	714	0	42	16,10	0,05	16,15
315°		1,36	0	628	0	37	14,30	0,05	14,35

Tabela 39 - Percentagens de desconforto da cozinha, considerando as horas ocupadas (continuação).

0°	Padrão de uso 4 (1.887 horas ocupadas)	1,00	0	357	0	20	6,13	0,11	6,24
45°		1,05	0	395	0	22	6,24	0,16	6,41
90°		1,10	0	433	0	24	6,46	0,11	6,57
135°		1,04	0	422	0	23	6,24	0,05	6,30
180°		0,99	0	403	0	22	5,57	0,05	5,81
225°		1,06	0	478	0	26	6,13	0,05	6,19
270°		1,16	0	498	0	27	6,68	0,11	6,79
315°		1,07	0	444	0	24	6,24	0,22	6,46

Figura 77 - Horas de desconforto e graus-médio por calor no quarto 1, considerando as horas ocupadas.

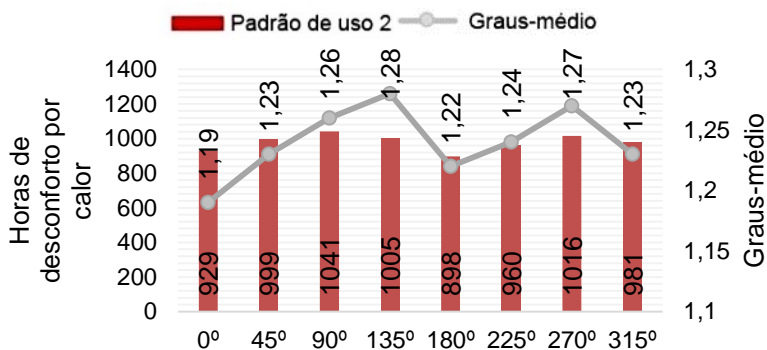
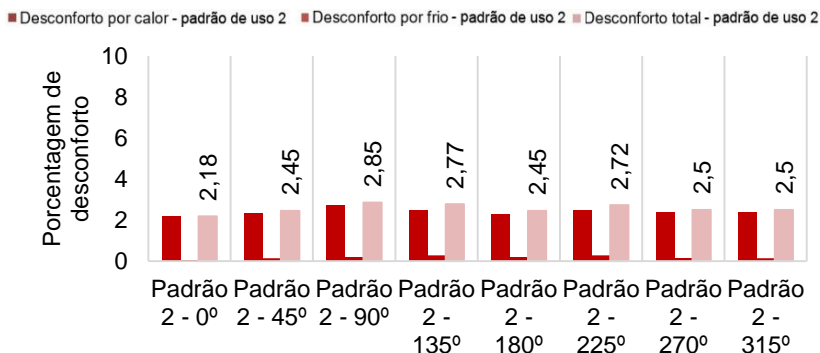


Figura 78 - - Percentagem de desconforto pela carta bioclimática do quarto 1.



APÊNDICE F – VALORES DE CONFORTO E DESCONFORTO, CONSIDERANDO AS HORAS OCUPADAS

Figura 79 - Percentagens de desconforto do quarto 2, considerando as horas ocupadas.

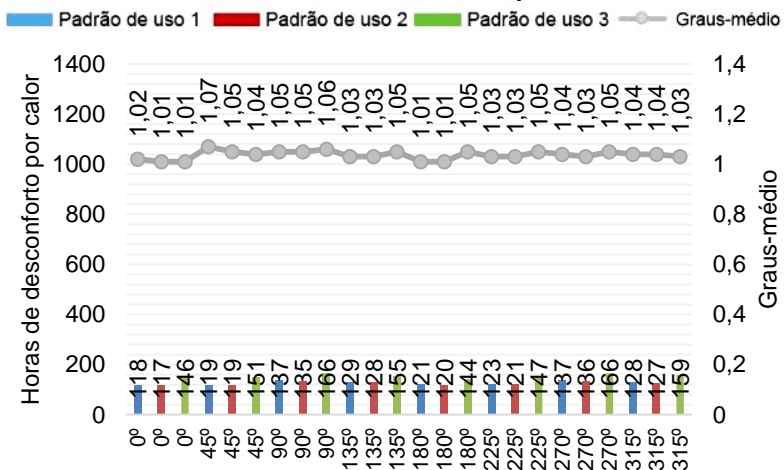


Figura 80 - - Percentagem de desconforto pela carta bioclimática do quarto 2.

■ Desconforto por calor - padrão de uso 1
 ■ Desconforto por frio - padrão de uso 1
 ■ Desconforto total - padrão de uso 1
■ Desconforto por calor - padrão de uso 2
 ■ Desconforto por frio - padrão de uso 2
 ■ Desconforto total - padrão de uso 2
■ Desconforto por calor - padrão de uso 3
 ■ Desconforto por frio - padrão de uso 3
 ■ Desconforto total - padrão de uso 3

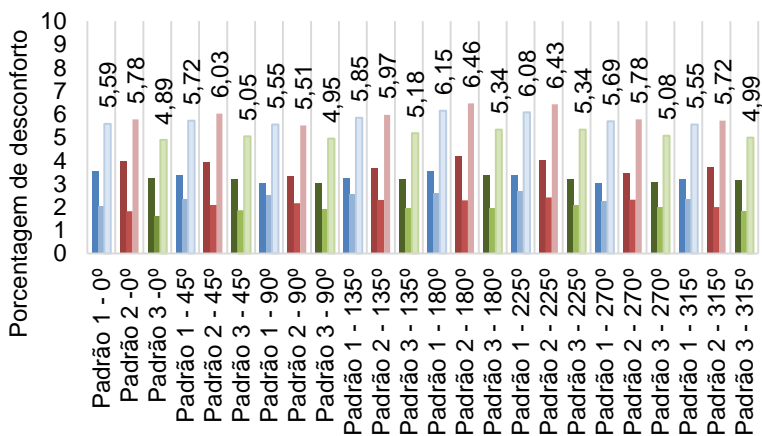


Figura 81 - Horas de desconforto e graus-médio por calor no quarto 3, considerando as horas ocupadas.

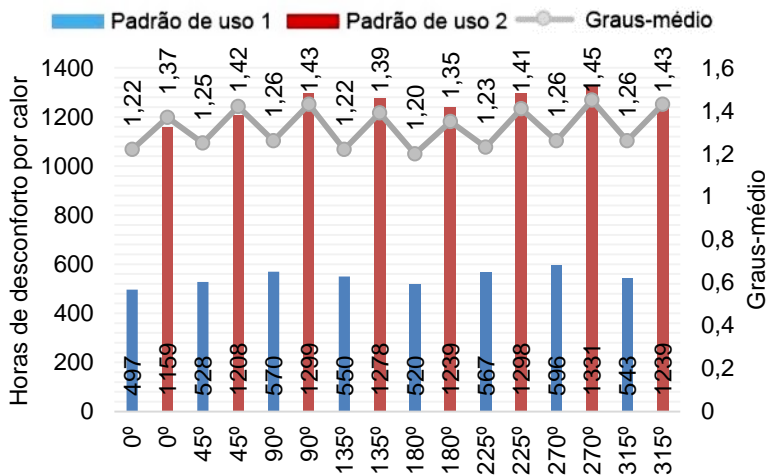
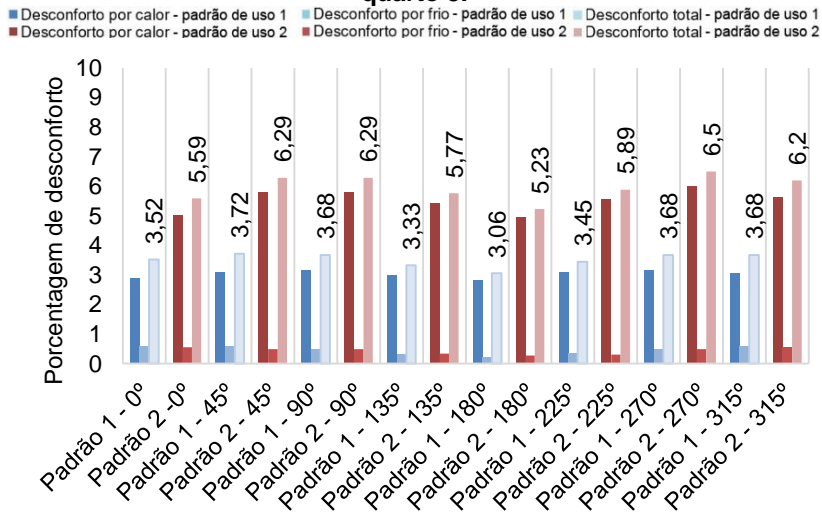


Figura 82 - Porcentagem de desconforto pela carta bioclimática do quarto 3.



APÊNDICE F – VALORES DE CONFORTO E DESCONFORTO, CONSIDERANDO AS HORAS OCUPADAS

Figura 83 - Horas de desconforto e graus-médio por calor na sala 1, considerando as horas ocupadas.

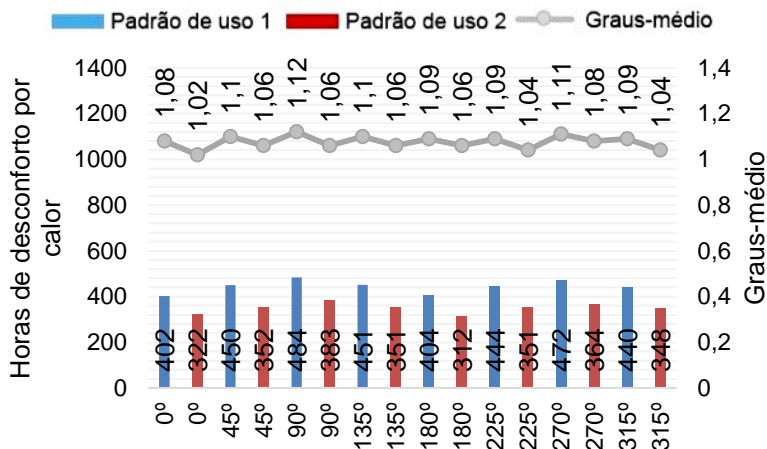


Figura 84 - Porcentagem de desconforto pela carta bioclimática da sala 1.

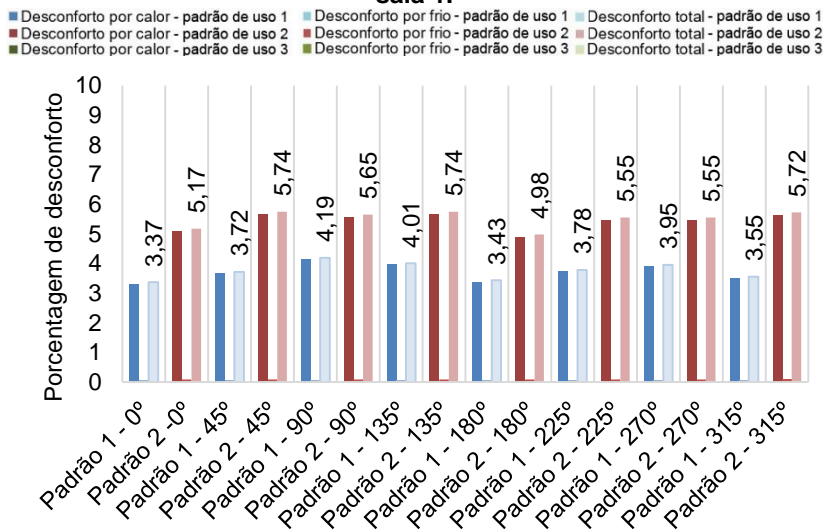


Figura 85 - Horas de desconforto e graus-médio por calor na sala 2, considerando as horas ocupadas.

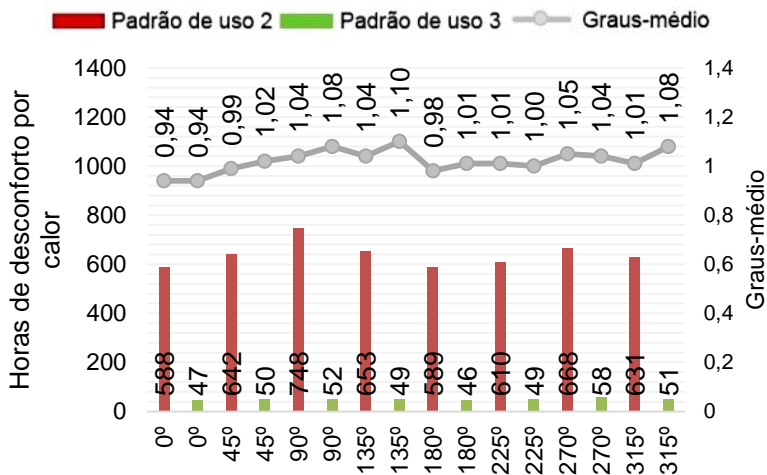
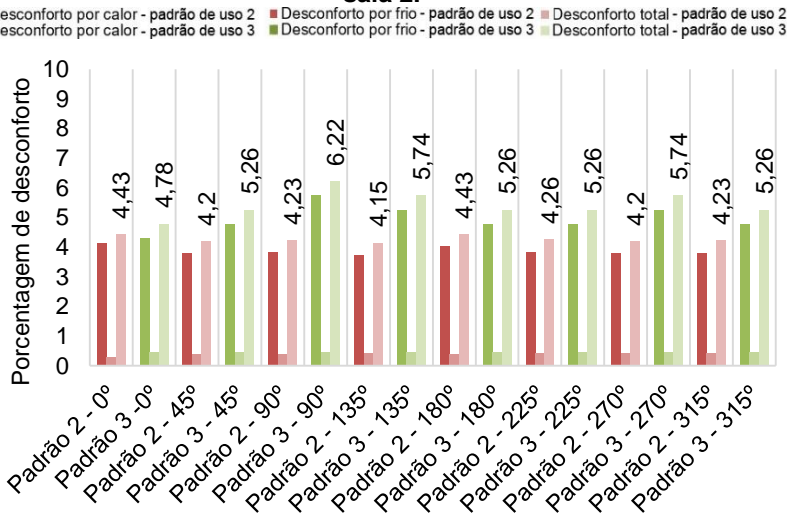


Figura 86 -- Porcentagem de desconforto pela carta bioclimática da sala 2.



APÊNDICE F – VALORES DE CONFORTO E DESCONFORTO, CONSIDERANDO AS HORAS OCUPADAS

Figura 87 - Horas de desconforto e graus-médio por calor na cozinha, considerando as horas ocupadas.

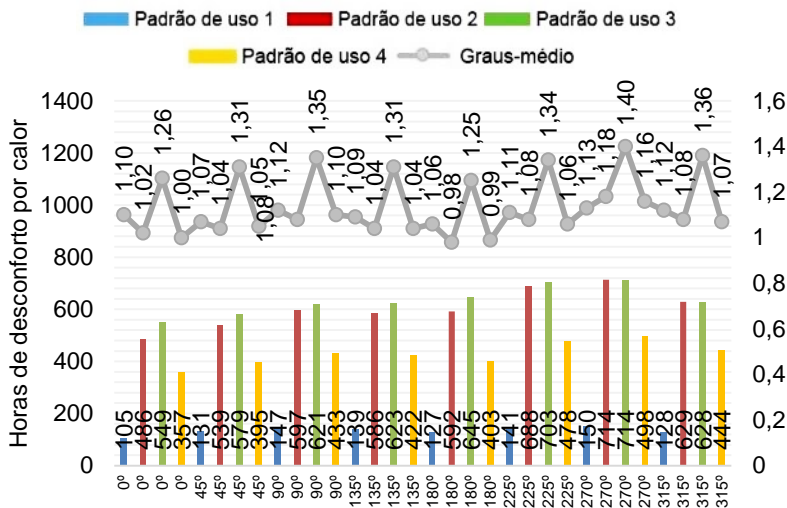
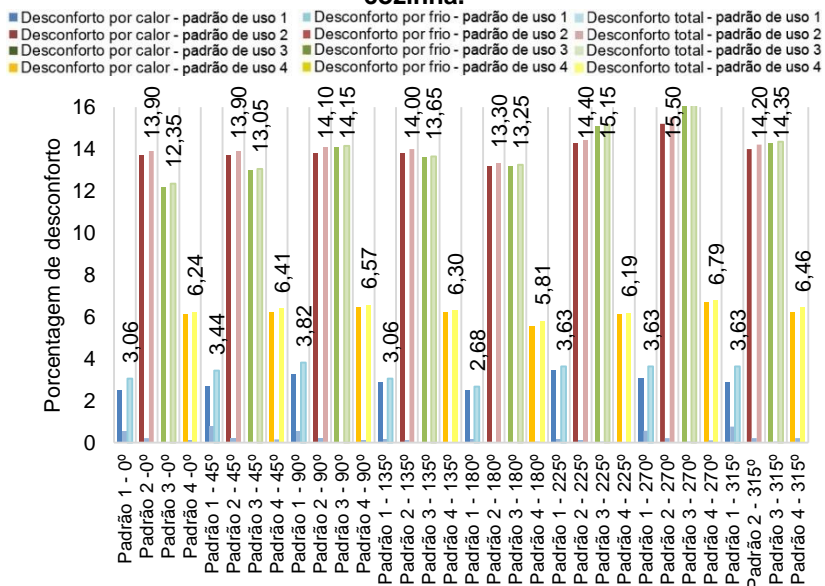
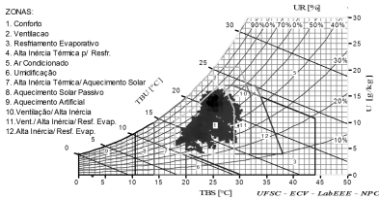


Figura 88 – Percentagem de desconforto pela carta bioclimática da cozinha.

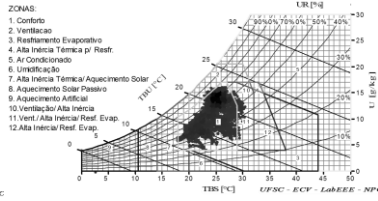


APÊNDICE G – CARTA BIOCLIMÁTICA DOS DADOS SIMULADOS, CONSIDERANDO AS HORAS OCUPADAS

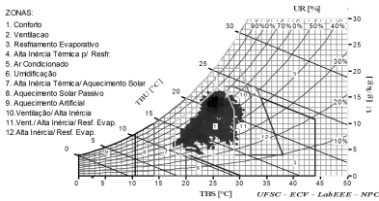
Figura 89 - Carta bioclimática do quarto 1 com padrão de uso 1.



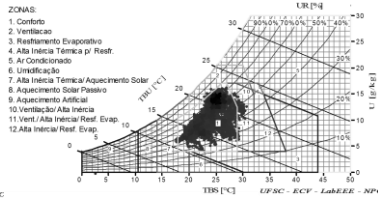
a) Orientação 0°



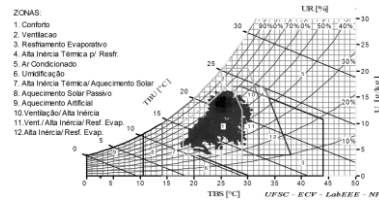
b) Orientação 45°



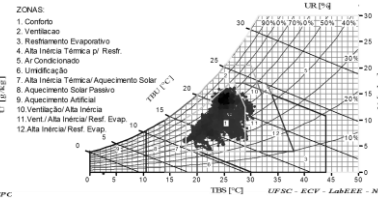
c) Orientação 90°



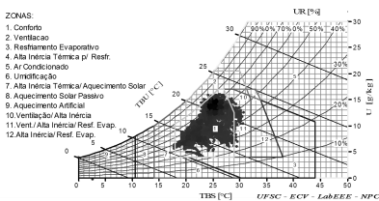
d) Orientação 135°



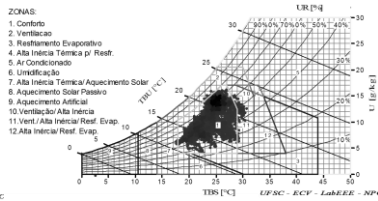
e) Orientação 180°



f) Orientação 225°



g) Orientação 270°



h) Orientação 315°

APÊNDICE G – CARTA BIOCLIMÁTICA DOS DADOS SIMULADOS, CONSIDERANDO AS HORAS OCUPADAS

Figura 90 - Carta bioclimática do quarto 2 com padrão de uso 1.

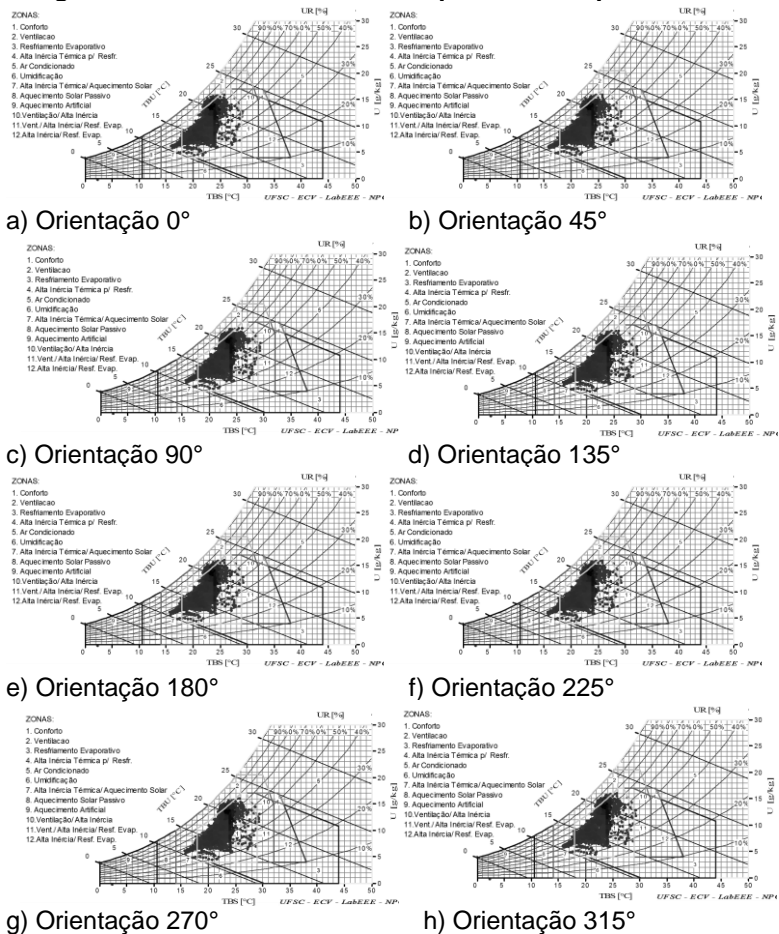
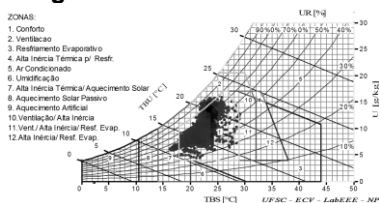
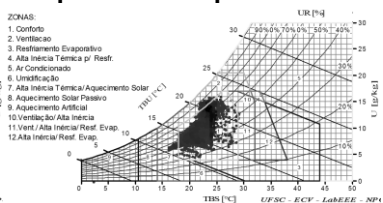


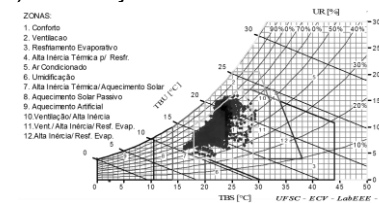
Figura 91 - Carta bioclimática do quarto 2 com padrão de uso 2.



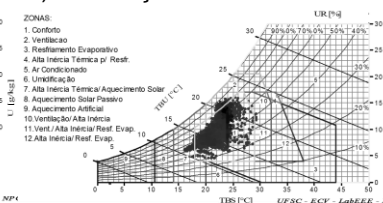
a) Orientação 0°



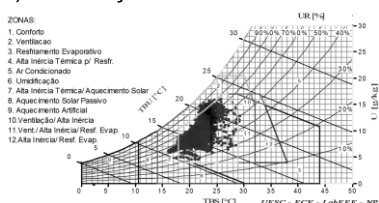
b) Orientação 45°



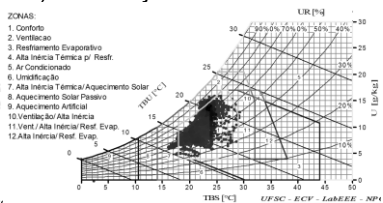
c) Orientação 90°



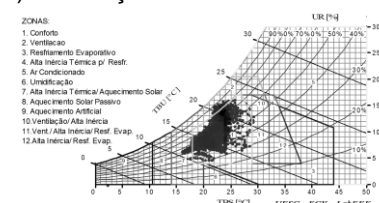
d) Orientação 135°



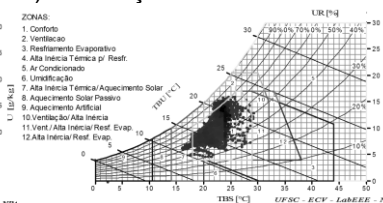
e) Orientação 180°



f) Orientação 225°



g) Orientação 270°



h) Orientação 315°

APÊNDICE G – CARTA BIOCLIMÁTICA DOS DADOS SIMULADOS, CONSIDERANDO AS HORAS OCUPADAS

Figura 92 - Carta bioclimática do quarto 2 com padrão de uso 3.

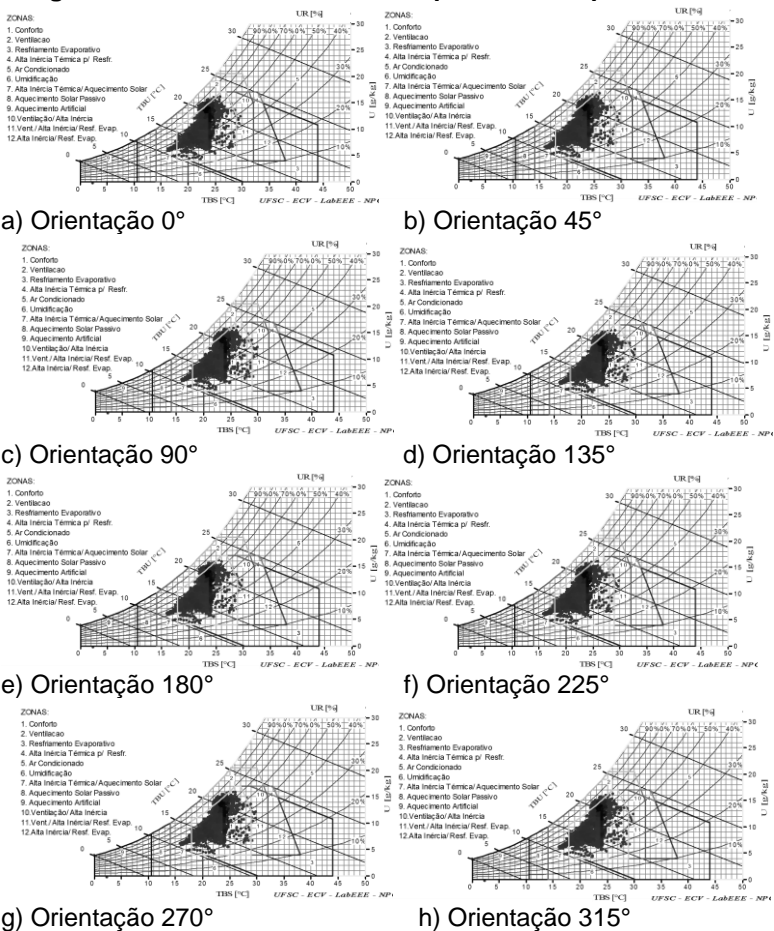
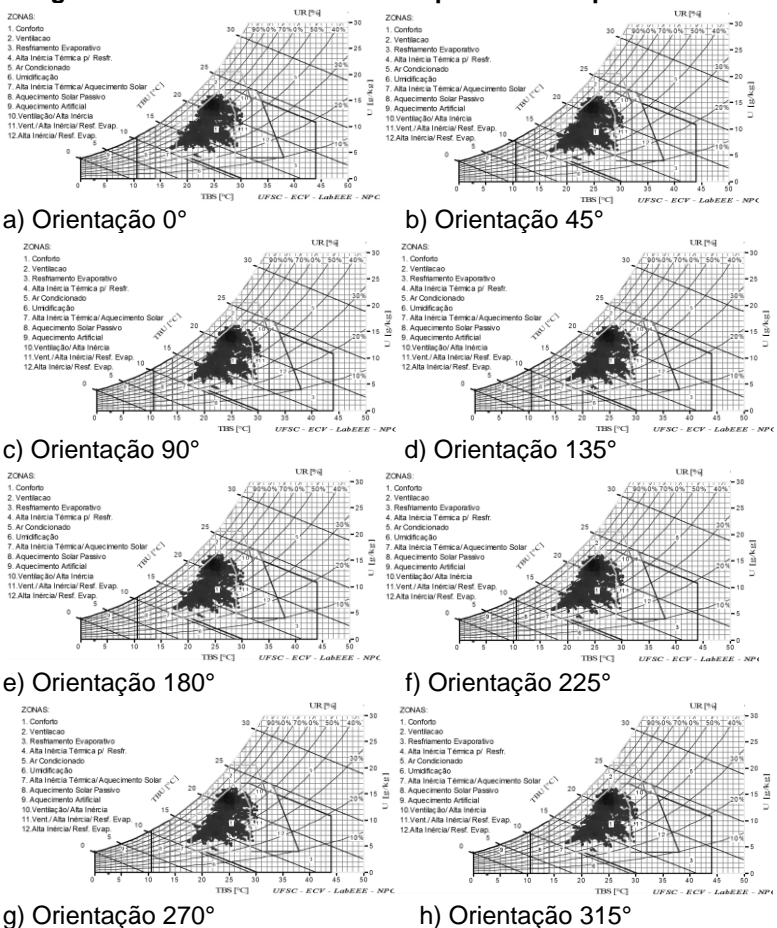


Figura 93 - Carta bioclimática do quarto 3 com padrão de uso 1.



APÊNDICE G – CARTA BIOCLIMÁTICA DOS DADOS SIMULADOS, CONSIDERANDO AS HORAS OCUPADAS

Figura 94 - Carta bioclimática do quarto 3 com padrão de uso 2.

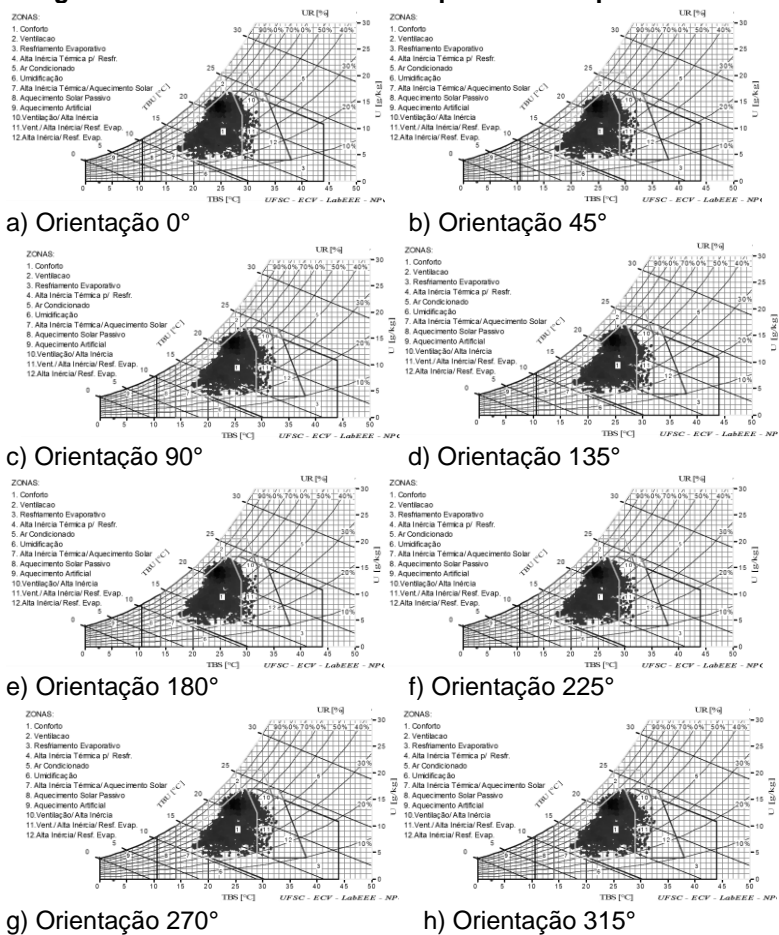
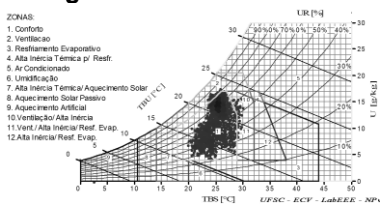
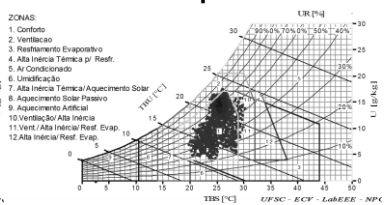


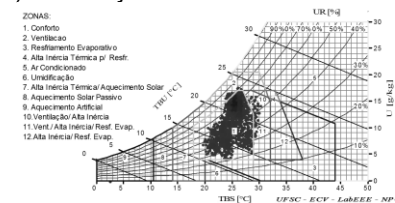
Figura 95 - Carta bioclimática da sala 1 com padrão de uso 1.



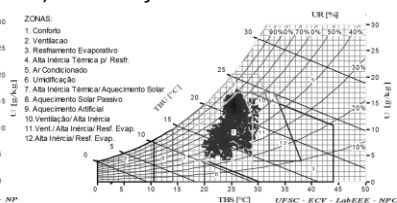
a) Orientação 0°



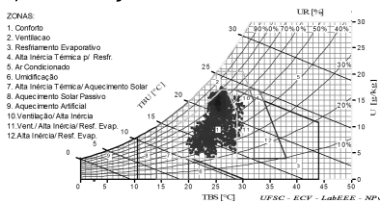
b) Orientação 45°



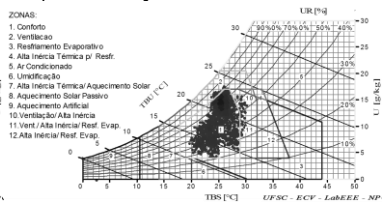
c) Orientação 90°



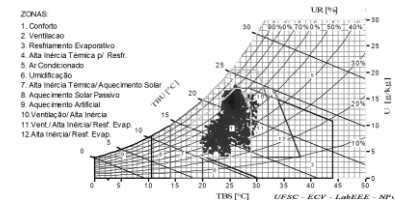
d) Orientação 135°



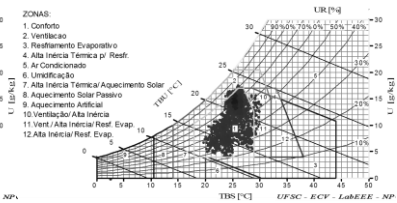
e) Orientação 180°



f) Orientação 225°



g) Orientação 270°



h) Orientação 315°

APÊNDICE G – CARTA BIOCLIMÁTICA DOS DADOS SIMULADOS, CONSIDERANDO AS HORAS OCUPADAS

Figura 96 - Carta bioclimática da sala 1 com padrão de uso 2.

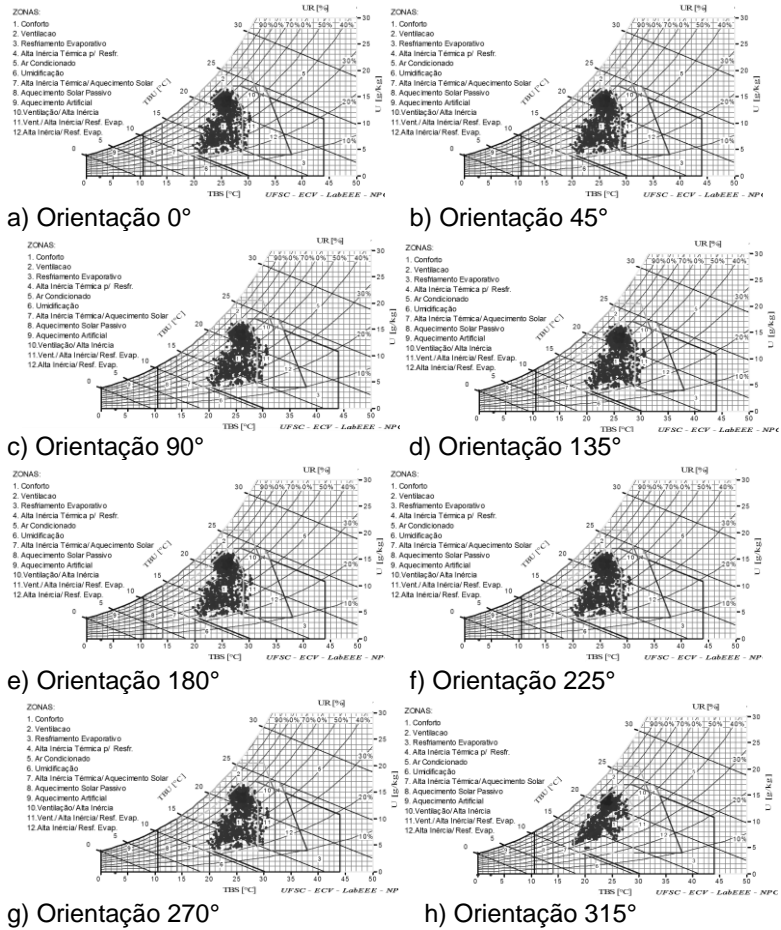
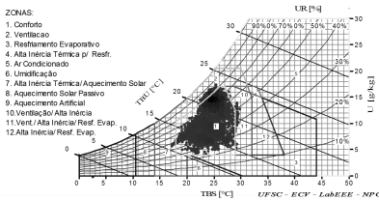
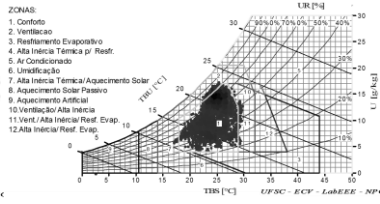


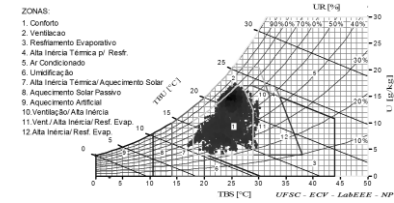
Figura 97 - Carta bioclimática da sala 2 com padrão de uso 2.



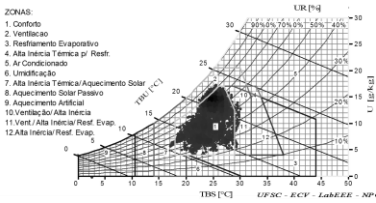
a) Orientação 0°



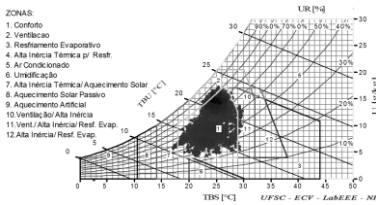
b) Orientação 45°



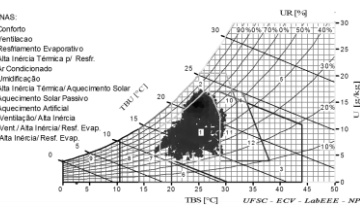
c) Orientação 90°



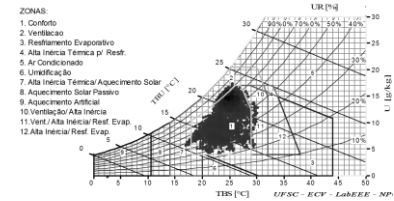
d) Orientação 135°



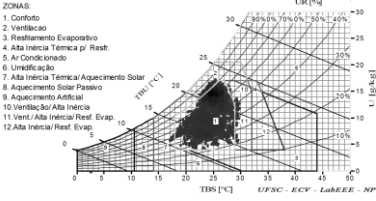
e) Orientação 180°



f) Orientação 225°



g) Orientação 270°



h) Orientação 315°

APÊNDICE G – CARTA BIOCLIMÁTICA DOS DADOS SIMULADOS, CONSIDERANDO AS HORAS OCUPADAS

Figura 98 - Carta bioclimática da sala 2 com padrão de uso 3.

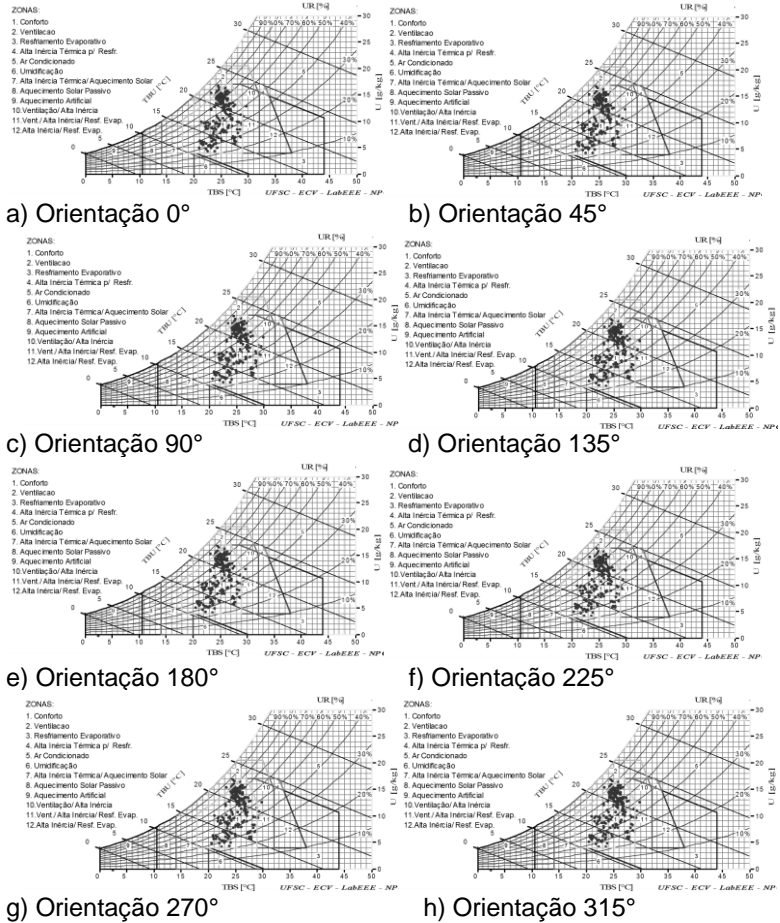
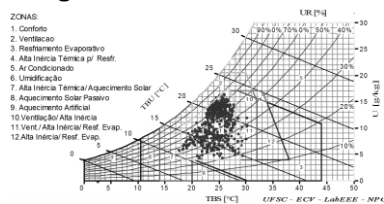
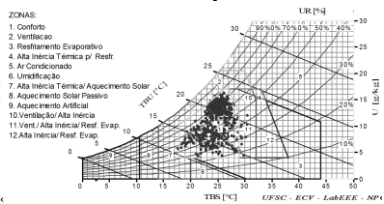


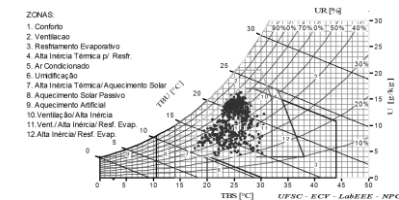
Figura 99 - Carta bioclimática da cozinha com padrão de uso 1.



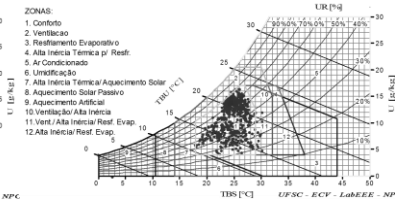
a) Orientação 0°



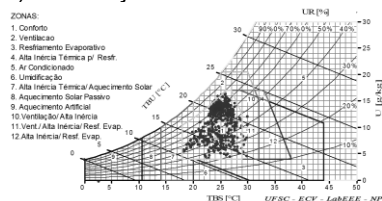
b) Orientação 45°



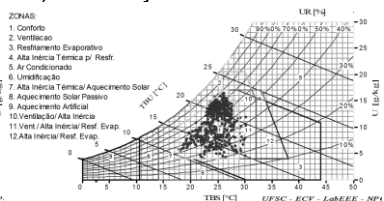
c) Orientação 90°



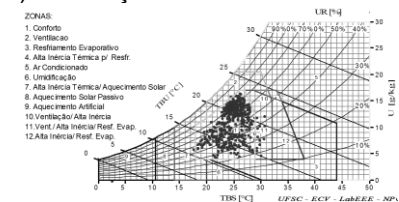
d) Orientação 135°



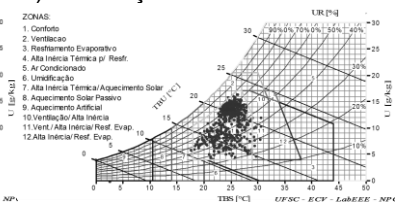
e) Orientação 180°



f) Orientação 225°



g) Orientação 270°



h) Orientação 315°

APÊNDICE G – CARTA BIOCLIMÁTICA DOS DADOS SIMULADOS, CONSIDERANDO AS HORAS OCUPADAS

Figura 100 - Carta bioclimática da cozinha com padrão de uso 2.

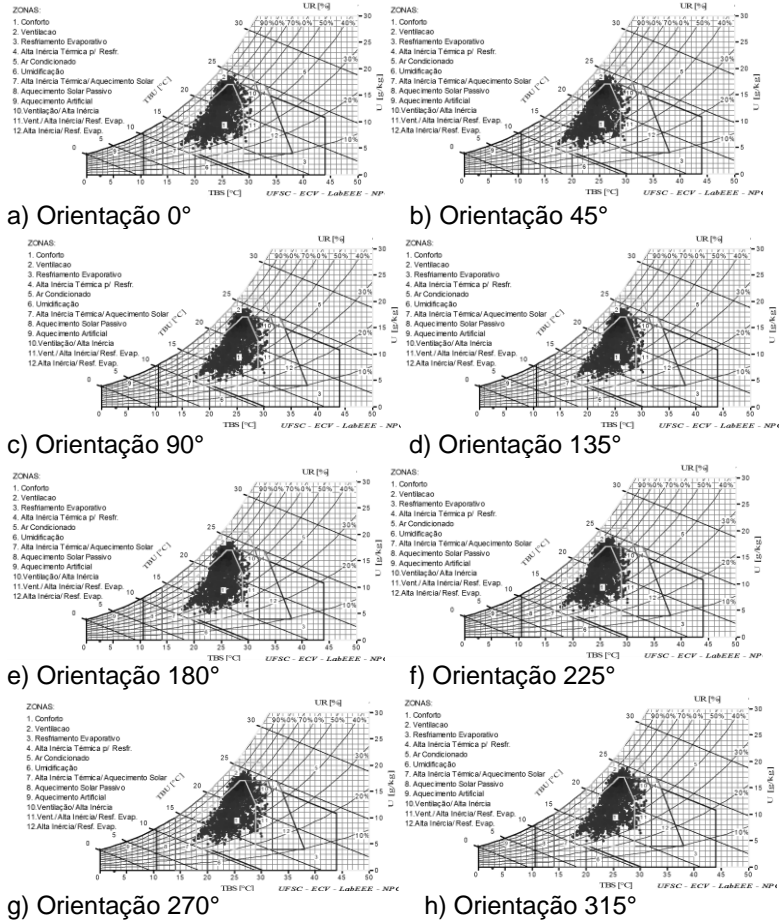
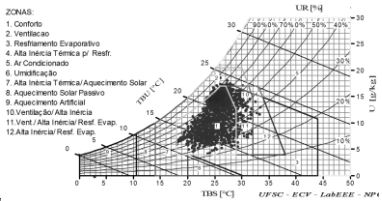
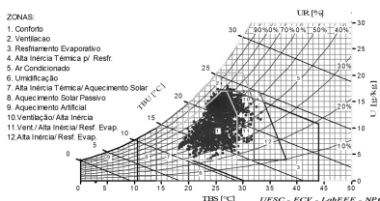
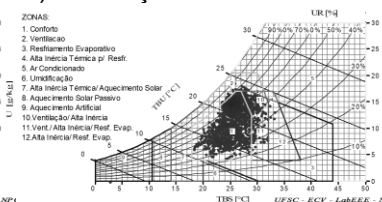
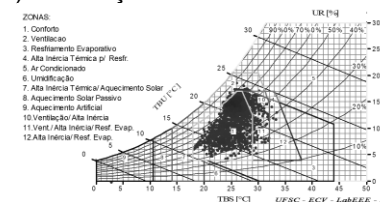


Figura 101 - Carta bioclimática da cozinha com padrão de uso 3.



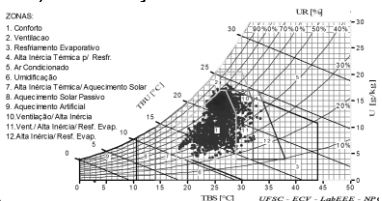
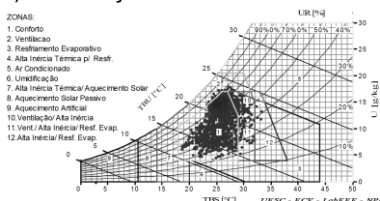
a) Orientação 0°

b) Orientação 45°



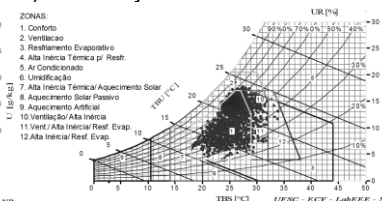
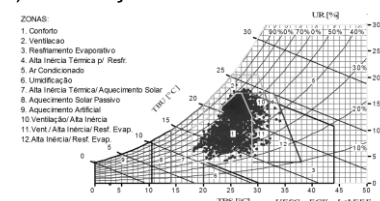
c) Orientação 90°

d) Orientação 135°



e) Orientação 180°

f) Orientação 225°



g) Orientação 270°

h) Orientação 315°

APÊNDICE G – CARTA BIOCLIMÁTICA DOS DADOS SIMULADOS, CONSIDERANDO AS HORAS OCUPADAS

Figura 102 - Carta bioclimática da cozinha com padrão de uso 4.

