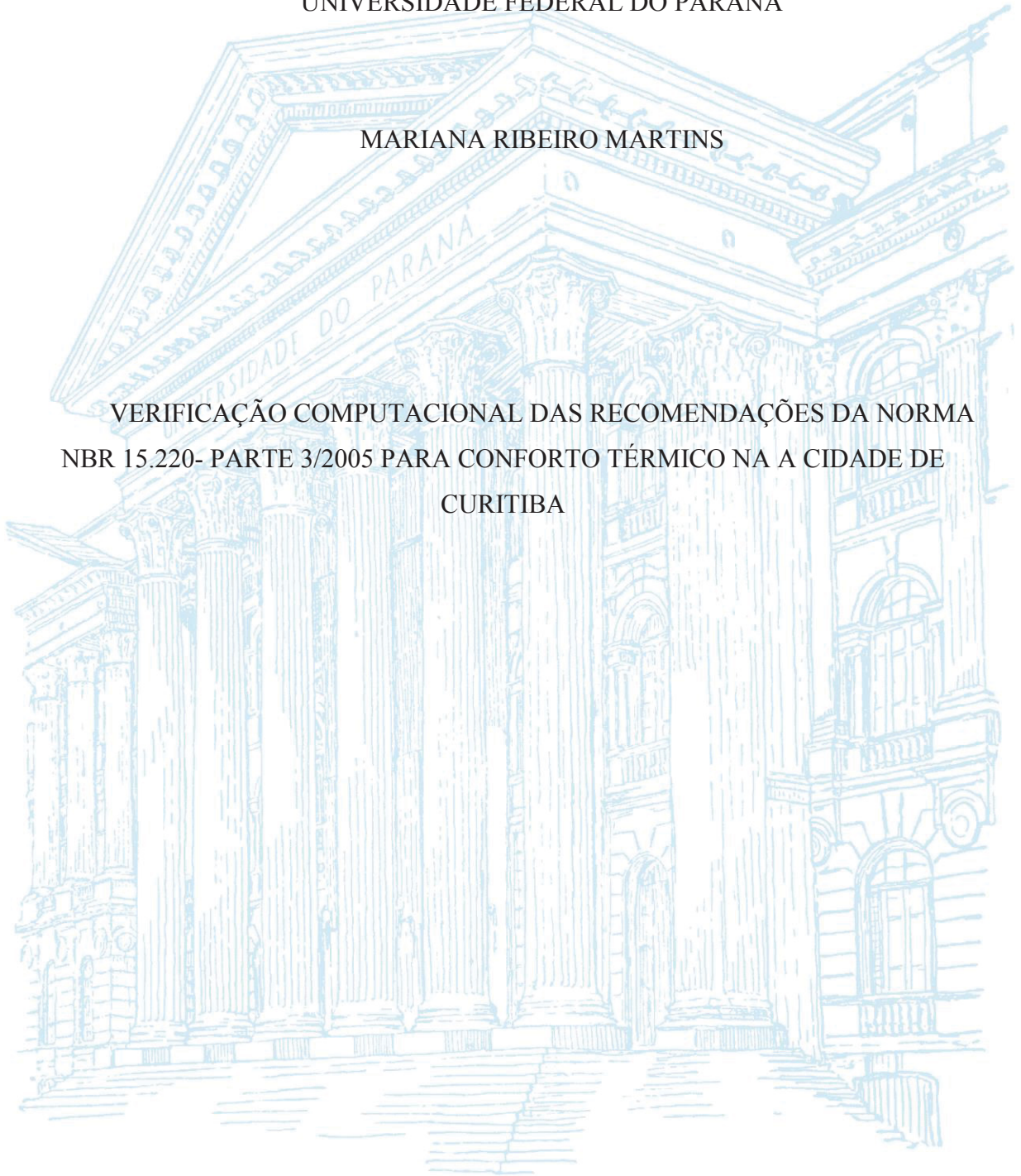


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MARIANA RIBEIRO MARTINS

VERIFICAÇÃO COMPUTACIONAL DAS RECOMENDAÇÕES DA NORMA
NBR 15.220- PARTE 3/2005 PARA CONFORTO TÉRMICO NA A CIDADE DE
CURITIBA



CURITIBA

2016

MARIANA RIBEIRO MARTINS

VERIFICAÇÃO COMPUTACIONAL DAS RECOMENDAÇÕES DA NORMA NBR
15.220- PARTE 3/2005 PARA CONFORTO TÉRMICO NA A CIDADE DE CURITIBA

Dissertação apresentada como requisito parcial à
obtenção do título de Mestre em Engenharia de
Construção Civil, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Construção Civil, Setor de Tecnologia,
Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof.Dr.-Ing.Aloísio Leoni Schmid

CURITIBA

2016

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

M386v

Martins, Mariana Ribeiro

Verificação computacional das recomendações da norma NBR 15.220-
parte 3/2005 para conforto térmico na a cidade de Curitiba [recurso
eletrônico] / Mariana Ribeiro Martins. – Curitiba, 2016.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, 2016.

Orientador: Aloísio Leoni Schmid.

1. Arquitetura. 2. Arquitetura de interiores. 3. Clima. 4. Controle de
temperatura. I. Universidade Federal do Paraná. II. Schmid, Aloísio Leoni. III.
Título.

CDD: 720.47

Bibliotecária: Vanusa Maciel CRB- 9/1928

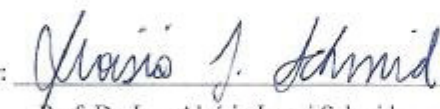
TERMO DE APROVAÇÃO

MARIANA RIBEIRO MARTINS

VERIFICAÇÃO COMPUTACIONAL DAS RECOMENDAÇÕES DA NORMA NBR
15.220- PARTE 3/2005 PARA CONFORTO TÉRMICO NA CIDADE DE CURITIBA

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil, Área de Concentração: Ambiente Construído e Gestão, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador:


Prof. Dr. Ing. Aloísio Leoni Schmid

Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil - UFPR

Examinador:


Prof. Dr. George Stanescu

Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil - UFPR

Examinador:


Prof. Dr. Nathan Mendes

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica - PUC-PR

Curitiba, 20 de Junho de 2016.

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho aos meus pais Ana e José Carlos,
por estarem sempre presentes e serem o meu suporte.*

*Ao meu irmão Diogo, por ser meu maior exemplo e
grande incentivador da minha vida profissional.*

*Ao meu marido Danilo, pelo grande apoio,
compreensão e carinho que sempre recebi.*

*E, finalmente, para a minha filha Yasmin,
por desde sempre ser a minha motivação.*

RESUMO

Este estudo analisa as estratégias determinadas pela Norma Brasileira de Desempenho Térmico e Zoneamento Bioclimático, a NBR 15.220-3 para a cidade de Curitiba, localizada na Zona Bioclimática 01. A Norma estabelece doze estratégias para se atingir o conforto térmico no interior dos edifícios, levando em consideração a temperatura de bulbo seco e a umidade predominante em cada clima. Estas estratégias são visualizadas pela Carta Bioclimática correspondente a cada cidade. Este estudo busca através de simulação computacional, pelo software EnergyPlus, testar as estratégias bioclimáticas propostas pela Norma. O objetivo é esclarecer a possível fundamentação dos limites de temperatura relativos às diretrizes construtivas descritas em Norma, em especial os limites inferiores de temperatura da zona de conforto térmico, da zona que recomenda uso de massa térmica para aquecimento e da zona que recomenda arquitetura solar passiva. A pesquisa se restringe à análise da Zona Bioclimática 01. Para este fim a unidade de análise foi um apartamento padrão localizado na cidade de Curitiba- Paraná. Nele foram realizadas simulações com materiais construtivos de diferentes espessuras e propriedades térmicas. Os índices utilizados correspondem aos descritos em Norma. A partir da comparação dos resultados obtidos de temperatura interna do edifício em relação aos dados de temperatura externa, foram averiguadas as estratégias recomendadas pelo Diagrama Bioclimático. Nesse sentido foi verificada a aplicabilidade da estratégia de adição de massa térmica nos intervalos de 14 a 21 Graus Celsius de Temperatura de Bulbo Seco e da orientação solar do edifício para os intervalos de 10,5 a 14 Graus Celsius. Em conclusão, ocorreu a confirmação dos limites estipulados em Norma para a Zona de Massa Térmica. Além disso, as espessuras de parede, para efeito de capacidades térmica, foram mais bem definidas. Para a Zona de Aquecimento Solar os resultados não confirmaram o Diagrama Bioclimático descrito em Norma e novos estudos são necessários para a confirmação deste resultado. Esta pesquisa busca auxiliar um melhor entendimento das diretrizes normativas estipuladas pela Norma Brasileira de Desempenho Térmico das Edificações, de modo que as estratégias sejam claramente compreendidas e mais facilmente aplicadas. Para melhor elucidação desta conclusão sugere-se novos estudos para confirmar os dados obtidos e analisados.

Palavras-chave: desempenho térmico, NBR 15.220-3, arquitetura bioclimática, Curitiba, zona bioclimática brasileira, Diagrama Bioclimático.

ABSTRACT

This study analyzes the strategies determined by the Brazilian Standard for Thermal Performance and Bioclimatic Zoning, NBR 15220-3 to the city of Curitiba, located in Bioclimatic Zone 01. The standard establishes twelve strategies to achieve thermal comfort inside buildings, taking into account the dry bulb temperature and humidity prevailing in each climate. These strategies are visualized by the correspondent Bioclimatic Chart to each city. This study seeks through computer simulation, by the EnergyPlus software, to test the bioclimatic strategies proposed by the standard. The aim is to clarify the possible reasons for the temperature limits for the construction guidelines described in the standard, especially the lower limit temperature of the thermal comfort zone, the zone that recommends thermal mass use for heating and zone that recommends passive solar architecture. The research is restricted to the analysis of Bioclimatic Zone 01. For this purpose the unit of analysis was a standard apartment located in Curitiba- Paraná. Simulations were performed with building materials of different thicknesses and thermal properties as described in the standard and variations. From the comparison of the results of internal temperature of the building in relation to the external temperature data, strategies recommended by the Bioclimatic Diagram were investigated. In this sense the applicability of thermal mass addition strategy was verified in the ranges of 14 to 21 degrees Celsius Dry bulb temperature and the strategy of solar orientation of the building in the ranges of 10.5 to 14 degrees Celsius. In conclusion, the limits stipulated in the standard for Thermal Mass Zone were confirmed. Furthermore, the wall thicknesses, to effect thermal capacity, are better defined. For Solar Heating Zone the results did not confirm the Bioclimatic Diagram described in the Norm and further studies are needed for confirmation of this result. This research seeks to assist a better understanding of the regulatory guidelines established by the Brazilian Standard for Thermal Performance of Buildings, so that strategies are clearly understood and more easily applied. To elucidate this finding new studies are suggested in order to confirm the data obtained and analyzed.

Key words: thermal performance, NBR 15.220-3, bioclimatic architecture, Curitiba, Bioclimatic Brazilian Zones, Bioclimatic Chart.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- PAREDE EXISTENTE EM CONSTRUÇÕES VERNACULARES EM CIDADE DE CLIMA NUBLADO E FRIO DA ÍNDIA.....	29
FIGURA 2: ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO.....	33
FIGURA 3: PROPOSTA DE ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO.....	34
FIGURA 4: DETERMINAÇÃO DA LINHA ABC	35
FIGURA 5: CARTA BIOCLIMÁTICA PARA A ZONA 1	36
FIGURA 6- MAPA MENTAL	42
FIGURA 7- ORGANOGRAMA DAS ETAPAS DE COLETA DOS DADOS PARA A SIMULAÇÃO.	46
FIGURA 8- PLANTA APARTAMENTO	48
FIGURA 9 - CORTE EDIFÍCIO	50
FIGURA 10- LAJE ADOTADA NA SIMULAÇÃO.....	51
FIGURA 11- PAREDE EXTERNA	51
FIGURA 12- PAREDE INTERNA ALVENARIA 12 CM.....	51
FIGURA 13- PAREDE <i>DRY-WALL</i> INTERNA DE 7 CM	52
FIGURA 14- PAREDE <i>DRY-WALL</i> INTERNA DE 7 CM COM LÃ DE ROCHA	52
FIGURA 15- PAREDE <i>DRY-WALL</i> INTERNA DE 10 CM	52
FIGURA 16- PAREDE <i>DRY-WALL</i> INTERNA DE 10 CM COM LÃ DE ROCHA	52
FIGURA 17: ZONA DE CONFORTO TÉRMICO	58
FIGURA 18: ZONA DE DESUMIDIFICAÇÃO	59
FIGURA 19: ZONA DE MASSA TÉRMICA PARA AQUECIMENTO	60
FIGURA 20- PAREDE INTERNA ALVENARIA 12 CM.....	61
FIGURA 21- PAREDE INTERNA ALVENARIA 15 CM.....	61
FIGURA 22: ZONA DE AQUECIMENTO SOLAR DA EDIFICAÇÃO.....	71

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: REQUISITOS DO DESEMPENHO TÉRMICO PARA A ZONA BIOCLIMÁTICA 01	37
TABELA 2: ÁREAS DOS AMBIENTES DO APARTAMENTO	49
TABELA 3: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS MATERIAIS CONSTRUTIVOS	53
TABELA 4: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO VIDRO	54
TABELA 5: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO VIDRO DUPLO	55
TABELA 6: ROTINA DE USO DOS EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS	56
TABELA 7: LIMITES INFERIOR E SUPERIOR DA ZONA DE MASSA TÉRMICA PARA AQUECIMENTO	68
TABELA 8: RESUMO DA DIFERENÇA DE TEMPERATURA DE ACORDO COM AS ESPESSURAS DE PAREDE	69
TABELA 9: ÁREA DAS ABERTURAS SIMULADAS	77
TABELA 10: LIMITES INFERIOR E SUPERIOR DAS ABERTURAS SIMULADAS PARA A ZONA DE AQUECIMENTO SOLAR	90
TABELA 11: LIMITES INFERIOR E SUPERIOR DAS JANELAS COM VIDROS DUPLOS SIMULADAS PARA A ZONA DE AQUECIMENTO SOLAR.....	91

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - TEMPERATURAS MÉDIAS MENSIS DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA INTERNA DE ESPESSURA DE 12 CM E ROTAÇÃO DE 0°	62
GRÁFICO 2 - TEMPERATURAS MÉDIAS MENSIS DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA INTERNA DE ESPESSURA DE 15 CM E ROTAÇÃO DE 0°	62
GRÁFICO 3 - COMPARAÇÃO DAS TEMPERATURAS MÉDIAS MENSIS DA Z7 COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA INTERNA DE ESPESSURA DE 12 E 15 CM E ROTAÇÃO DE 0°	63
GRÁFICO 4 - TEMPERATURAS MÉDIAS MENSIS DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM <i>DRY-WALL</i> DE ESPESSURA DE 7 CM E ROTAÇÃO DE 0°	64
GRÁFICO 5 - TEMPERATURAS MÉDIAS MENSIS DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM <i>DRY-WALL</i> DE ESPESSURA DE 10 CM E ROTAÇÃO DE 0°	64
GRÁFICO 6 - COMPARAÇÃO DAS TEMPERATURAS MÉDIAS MENSIS DA Z7 COM PAREDES INTERNAS EM <i>DRY-WALL</i> DE ESPESSURA DE 7 E 10 CM E ROTAÇÃO DE 0°	65
GRÁFICO 7 - TEMPERATURAS MÉDIAS MENSIS DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM <i>DRY-WALL</i> DE ESPESSURA DE 7 CM COM LÃ DE ROCHA E ROTAÇÃO DE 0°	66
GRÁFICO 8 - TEMPERATURAS MÉDIAS MENSIS DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM <i>DRY-WALL</i> DE ESPESSURA DE 10 CM COM LÃ DE ROCHA E ROTAÇÃO DE 0°	67
GRÁFICO 9 - COMPARAÇÃO DAS TEMPERATURAS MÉDIAS MENSIS DA Z7 COM PAREDES INTERNAS EM <i>DRY-WALL</i> DE ESPESSURA DE 7 E 10 CM COM LÃ DE ROCHA E ROTAÇÃO DE 0°	67
GRÁFICO 10- DESEMPENHO TÉRMICO ANUAL PARA PAREDES INTERNAS EM <i>DRY-WALL</i> DE ESPESSURA DE 7 CM COM LÃ DE ROCHA E ROTAÇÃO DE 0°	70
GRÁFICO 11- TEMPERATURAS MÉDIAS MENSIS DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA TRADICIONAL DE ESPESSURA DE 12 CM ROTAÇÃO DE 90°	72
GRÁFICO 12 - TEMPERATURAS MÉDIAS MENSIS DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA TRADICIONAL DE ESPESSURA DE 12 CM ROTAÇÃO DE 180°	73
GRÁFICO 13- COMPARAÇÃO DAS ORIENTAÇÕES PARA O DORMITÓRIO DA SUÍTE Z2 DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA TRADICIONAL DE ESPESSURA DE 12 CM	74
GRÁFICO 14- COMPARAÇÃO DAS ORIENTAÇÕES PARA AS SALAS, COZINHA, ÁREA DE SERVIÇO E HALL DE ENTRADA Z7 DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA TRADICIONAL DE ESPESSURA DE 12 CM	75
GRÁFICO 15- COMPARAÇÃO DAS ORIENTAÇÕES PARA O DORMITÓRIO 02 Z4 DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA TRADICIONAL DE ESPESSURA DE 12 CM	76

GRÁFICO 16- RESULTADO DA SIMULAÇÃO DA ABERTURA 1/4 COM VIDROS SIMPLES DO DORMITÓRIO 02 Z4 DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA TRADICIONAL DE ESPESSURA DE 12 CM.....	78
GRÁFICO 17- RESULTADO DA SIMULAÇÃO DA ABERTURA 1/4 COM VIDROS DUPLOS DO DORMITÓRIO 02 Z4 DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA TRADICIONAL DE ESPESSURA DE 12 CM.....	79
GRÁFICO 18 - COMPARAÇÃO DAS ABERTURAS DE 1/4 E 1/5 PARA A FACE LESTE COM E SEM VIDROS DUPLOS DO DORMITÓRIO 02 Z4 DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA TRADICIONAL DE ESPESSURA DE 12 CM.....	80
GRÁFICO 19 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO DA ABERTURA 1/20 COM VIDROS SIMPLES DO DORMITÓRIO 02 Z4 DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA TRADICIONAL DE ESPESSURA DE 12 CM.....	81
GRÁFICO 20 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO DA ABERTURA 1/20 COM VIDROS DUPLOS DO DORMITÓRIO 02 Z4 DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA TRADICIONAL DE ESPESSURA DE 12 CM.....	81
GRÁFICO 21 - COMPARAÇÃO DAS ABERTURAS DE 1/6, 1/7 E 1/8 PARA A FACE NORTE COM E SEM VIDROS DUPLOS DO DORMITÓRIO 02 Z4 DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA TRADICIONAL DE ESPESSURA DE 12 CM.....	83
GRÁFICO 22- RESULTADO DA SIMULAÇÃO DA ABERTURA 1/8 COM VIDROS DUPLOS DO DORMITÓRIO 02 Z4 DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA TRADICIONAL DE ESPESSURA DE 12 CM.....	83
GRÁFICO 23- RESULTADO DA SIMULAÇÃO DAS ABERTURAS 1/9, 1/10, 1/11, 1/12 E 1/15 PARA A FACE OESTE COM VIDROS SIMPLES DO DORMITÓRIO 02 Z4 DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA TRADICIONAL DE ESPESSURA DE 12 CM.....	84
GRÁFICO 24- RESULTADO DA SIMULAÇÃO DAS ABERTURAS 1/9, 1/10, 1/11, 1/12 E 1/15 PARA A FACE OESTE COM VIDROS DUPLOS DO DORMITÓRIO 02 Z4 DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA TRADICIONAL DE ESPESSURA DE 12 CM.....	85
GRÁFICO 25 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO DAS ABERTURAS DO DORMITÓRIO 02 Z4 PARA A ORIENTAÇÃO NORTE, DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA TRADICIONAL DE ESPESSURA DE 12 CM.....	86
GRÁFICO 26- RESULTADO DA SIMULAÇÃO DAS ABERTURAS DO DORMITÓRIO 02 Z4 PARA A ORIENTAÇÃO OESTE, DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA TRADICIONAL DE ESPESSURA DE 12 CM.....	87

GRÁFICO 27- RESULTADO DA SIMULAÇÃO DAS ABERTURAS DO DORMITÓRIO 02 Z4 PARA A ORIENTAÇÃO SUL, DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA TRADICIONAL DE ESPESSURA DE 12 CM.....	88
GRÁFICO 28- RESULTADO DA SIMULAÇÃO DAS ABERTURAS DO DORMITÓRIO 02 Z4 PARA A ORIENTAÇÃO LESTE, DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA TRADICIONAL DE ESPESSURA DE 12 CM.....	89

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	16
1.2 PROBLEMATIZAÇÃO	17
1.3 HIPÓTESE	18
1.4 OBJETIVO	18
1.5 JUSTIFICATIVA	19
1.5.1 Justificativa Ambiental	19
1.5.2 Justificativa Social	20
1.5.3 Justificativa Econômica	20
1.5.4 Justificativa Tecnológica	21
1.6 CONTEXTUALIZAÇÃO NO PROGRAMA.....	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
2.1 GENERALIDADES	23
2.2 CONFORTO TÉRMICO NOS EDIFÍCIOS	24
2.2.1 CONFORTO ADAPTATIVO	26
2.2.2 Estudos Locais Relacionados ao Conforto Térmico.....	27
2.3 CONFORTO TÉRMICO NOS EDIFÍCIOS LOCALIZADOS EM CLIMAS SUBTROPICAIS	28
2.4 CARTA BIOCLIMÁTICA DE GIVONI.....	29
2.5 NORMAS DE CONFORTO TÉRMICO EXISTENTES	30
2.5.1 O Diagrama Bioclimático	31
2.6 NBR 15.220- DESEMPENHO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES. PARTE 3: ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO E DIRETRIZES CONSTRUTIVAS PARA HABITAÇÕES UNIFAMILIARES DE INTERESSE SOCIAL.....	32
2.6.1 Carta Bioclimática	32
2.6.2 Parâmetros Construtivos Para A Zona Bioclimática 01	36
2.7 CLIMA DA CIDADE DE CURITIBA- PARANÁ	38
2.7.1 Dados Climáticos De Curitiba	38
2.8 ESTUDOS PRÉVIOS A RESPEITO DA APLICAÇÃO DAS NORMAS	39
3 MÉTODO.....	41
3.1 DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE PESQUISA.....	41

3.1.1	Unidade De Análise	41
3.1.2	Delimitação Do Trabalho.....	41
3.1.3	Justificativa Da Escolha A Partir Do Objetivo	43
3.1.4	Testes De Validade	43
3.1.5	Seleção Do Caso Ou Amostra.....	45
3.2	PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS	45
3.2.1	Definição de Conforto Térmico	47
3.2.2	Dados Climáticos da Cidade de Curitiba- Zona Bioclimática 01	47
3.2.3	Simulação do Projeto de Unidade Habitacional	48
3.3	DADOS DOS MATERIAIS CONSTRUTIVOS	53
3.4	DADOS DOS USUÁRIOS	55
4	INTERPRETAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES	57
4.1	ORGANIZAÇÃO DOS RESULTADOS	57
4.2	ZONA DE CONFORTO TÉRMICO	58
4.3	ZONA DE DESUMIDIFICAÇÃO.....	59
4.4	ZONA DE MASSA TÉRMICA PARA AQUECIMENTO	60
4.5	ZONA DE AQUECIMENTO SOLAR DA EDIFICAÇÃO	71
4.5.1	Aproveitamento da Radiação Solar - Superfícies Envidraçadas.....	76
4.6	ZONA DE AQUECIMENTO ARTIFICIAL	93
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	94
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	96
7	REFERÊNCIAS	98

1 INTRODUÇÃO

É natural a busca do ser humano, em situação de repouso, pela sensação de conforto e, também em outras atividades, pela sensação de conforto térmico. Mesmo de forma instintiva, o homem procura manter-se protegido das intempéries e variações bruscas de temperatura. Ao longo do tempo, mecanismos como roupas e abrigos foram desenvolvidos no sentido de amenizar tais variações.

Essa necessidade se torna cada vez mais importante na Arquitetura, já que permanecemos dentro dos edifícios por mais tempo. Com o avanço tecnológico, as ferramentas para alcançar tal conforto térmico tornam-se progressivamente mais possíveis. A arquitetura passiva e o condicionamento artificial de ar, isolados ou em conjunto, são as estratégias empregadas para se atingir o nível de conforto esperado pelos usuários dos edifícios. A consciência dos limites da exploração dos recursos naturais têm tornado preferíveis técnicas que sejam, energeticamente mais eficientes, de onde o interesse pela arquitetura passiva.

Apenas com a adequação do projeto arquitetônico ao clima local e a adoção de materiais coerentes é possível se atender grande parte da necessidade de conforto térmico. Além disso, a aplicação dessa estratégia não demanda gasto de energia para o condicionamento de ar. E quando não suficiente, ela ainda providencia a diminuição do consumo energético.

Um dos principais autores que tratam da arquitetura passiva é Baruch Givoni, pioneiro do estudo sobre conforto térmico em climas quentes. Dentre sua produção a Carta Bioclimática, apresentada em 1992¹, é uma das principais referências para o projeto bioclimático aplicadas no Brasil.

A Carta, também denominada Diagrama Bioclimático, é usada como base para a principal norma vigente referente ao desempenho térmico dos edifícios no país. A referida Norma, NBR 15.220, determina para cada clima no Brasil um grupo de estratégias de projeto que buscam atingir o conforto térmico no interior dos edifícios.

É possível explicar as estratégias de projeto para climas quentes pelo já citado trabalho de Givoni (1992). No entanto, para estratégias de projeto para climas frios que figuram na norma não é evidente qual a fundamentação.

A cidade de Curitiba enquadra-se na Zona Bioclimática 01. Essa é uma Zona particular na qual apenas doze municípios são incluídos. Eles possuem clima ameno durante grande parte do ano, o que difere da maior parte do país. Cidades incluídas nesta classificação

¹GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. Energy and Buildings 18: 11-23. 1992.

obrigatoriamente possuem como estratégia recomendada o aquecimento artificial e não podem estar inseridos na zona de ventilação do Diagrama.

Para cada uma das Zonas são determinadas estratégias de projeto. As estratégias recomendadas pela Norma para esta Zona são: Aquecimento Artificial, Massa Térmica para Aquecimento, Aquecimento Solar da Edificação e Desumidificação.

Nesta dissertação de mestrado os limites de temperatura para cada uma das estratégias são testados no município de Curitiba, Paraná, Brasil. Para se alcançar esse resultado, foi simulado um projeto de uma unidade habitacional no software EnergyPlus.

1.1 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O trabalho se inicia com a apresentação do tema desenvolvido na pesquisa, relacionando as justificativas, contextualização no programa e objetivo da pesquisa.

No segundo capítulo, que trata da Revisão Bibliográfica, é contextualizado o assunto usando como base artigos e livros. O conceito de conforto térmico é revisado com base em três principais autores: Givoni, Olgyay e Humphreys. Também são descritas pesquisas realizadas em climas semelhantes ao da cidade de Curitiba, objeto de estudo. Com a revisão sobre definições de conforto térmico nos edifícios, passa-se a uma análise com foco na Carta Bioclimática desenvolvida por Givoni e também outros trabalhos de importância do autor.

Posteriormente, toda a Norma Brasileira de Zoneamento Bioclimático, a NBR 15.220-3 é descrita e as partes que tratam da Zona Bioclimática 01, à qual Curitiba pertence, são recortadas e melhor descritas.

No terceiro capítulo é descrita a metodologia utilizada na simulação computacional para a análise das estratégias de projeto da Norma de Desempenho Térmico (15.220-3). Destaca-se nesta parte do trabalho a definição do conceito de conforto térmico para esta análise, assim como os passos seguidos para a simulação computacional. O projeto escolhido para base análise é detalhado e os dados de entrada são explicados.

O quarto capítulo apresenta a interpretação e análise dos resultados obtidos pela simulação computacional. Neste capítulo, separado pelas estratégias² sugeridas por Givoni, são

²Que também são chamadas de “zonas”, pela NBR 15.220-3, por corresponderem a polígonos no diagrama bioclimático, correspondendo a intervalos de temperatura de bulbo seco e umidade absoluta. Para evitar a imprecisão com as zonas bioclimáticas, estas de significado geográfico, para falar do diagrama de Givoni será preferida a expressão “estratégias bioclimáticas”.

analisados e comparados os resultados da temperatura interna do edifício. As estratégias analisadas são Massa Térmica para Aquecimento e Aquecimento Solar da Edificação. Os resultados são expostos em formato gráfico e são discutidos a partir de comparações.

O trabalho se encerra com as considerações finais, que expõem de forma resumida os resultados das simulações e as conclusões à que a presente pesquisa chegou.

O último capítulo enumera as sugestões de trabalhos futuros para que se aprofunde o estudo sobre o tema de conforto térmico para a Zona Bioclimática 01

1.2 PROBLEMATIZAÇÃO

Edifícios e seus componentes são necessidades básicas que deveriam ser produtos responsáveis socialmente aptos a contribuir para o nosso bem-estar físico, psicológico, cultural e econômico. Para isso devem prover, entre outros, condições confortáveis em relação ao aquecimento, resfriamento e ventilação (HALLIDAY, 1997).

Tomando como base essa afirmação foi questionado se as edificações projetadas para a cidade de Curitiba atendem aos níveis de conforto térmico demandados pelo usuário. O que se observa na maioria das vezes é que os edifícios existentes não provêm conforto térmico suficiente, em especial nas habitações onde o uso de condicionamento artificial de ar é menos freqüente.

A partir desta questão foram averiguados quais os padrões construtivos recomendados para a região. Apenas na NBR 15.220 e na NBR 15.575³ o assunto é citado e são ambas as únicas normas a descrever os parâmetros que devem ser atendidos para a construção de edifícios residenciais.

Por ser a NBR 15.220 que determina o parâmetro utilizado para a NBR 15.575, optou-se pelo estudo somente da primeira. Nela, a classificação da zona bioclimática implica em determinadas estratégias de projeto para arquitetura passiva para atingir o conforto térmico dos ambientes internos de um edifício residencial.

Sendo esta a Norma Técnica Regulatória para conforto térmico no país e as estratégias por ela estipuladas os parâmetros únicos para o padrão construtivo na região de Curitiba, foi elaborada a seguinte questão no estudo:

³NBR 15.575- Norma Brasileira de Desempenho das Edificações, 2013

As estratégias determinadas pela NBR 15.220-3 em unidades habitacionais localizadas em edifícios multifamiliares verticais para a cidade de Curitiba resultam em condições de conforto térmico no interior do edifício?

1.3 HIPÓTESE

Os requisitos de desempenho térmico dos edifícios residenciais no Brasil obedecem à NBR 15.220-3/2005. A Norma determina estratégias de projeto para cada Zona Bioclimática. O conjunto de estratégias para cada Zona é determinado por parâmetros específicos que são delimitados de acordo com a temperatura do ar externo.

A presente pesquisa parte da hipótese que os limites de temperatura para cada uma das estratégias estabelecidas pelo Diagrama Bioclimático para a Zona Bioclimática 01 estão incorretos. Pois mesmo quando aplicadas as estratégias não garantem o conforto térmico dos usuários.

Para este estudo foram considerados apenas os ambientes de permanência, pois entende-se que os demais não possuem relevância para esta análise específica por não possuírem como característica principal a demanda por conforto térmico.

1.4 OBJETIVO

O objetivo da pesquisa é verificar os limites de aplicabilidade das estratégias bioclimáticas na região de Curitiba. Busca-se melhor compreensão dos critérios propostos pela NBR 15.220-3 para a Zona Bioclimática 01, menos presente na literatura, de modo a proporcionar mais segurança aos projetistas e construtores de edifícios residenciais.

Esta pesquisa busca auxiliar para um melhor entendimento das diretrizes normativas estipuladas pela Norma Brasileira de Desempenho Térmico das Edificações e Zoneamento Bioclimático Brasileiro. Também procura colaborar com o aperfeiçoamento da norma em vigor, de modo que as estratégias verificadas sejam claramente compreendidas e mais facilmente aplicadas.

Também através de simulação computacional, o estudo pretende comparar o resultado da temperatura do ar interna do edifício localizado na Zona Bioclimática 01 com o resultado esperado pelas estratégias de projeto da Norma (NBR 15.220-3/2005) e concluir quais são os limites de aplicabilidade de cada uma das estratégias definidas.

1.5 JUSTIFICATIVA

1.5.1 Justificativa ambiental

Apesar de a matriz energética brasileira ser principalmente renovável e limpa, ainda há que se preocupar com o crescente consumo dessa fonte. De acordo com o Balanço Energético divulgado em 2015, com base no ano de 2014, os edifícios residenciais participam com 9,3 % da energia elétrica consumida no país, o que representa um aumento de 5,7% no consumo em relação ao ano anterior, para essa finalidade. De acordo com o BEN⁴, isso se deve principalmente ao aumento de renda da população brasileira nos últimos anos.

Ainda deve ser ressaltado que devido à alta demanda cada vez mais tem se utilizado no Brasil energia elétrica gerada por termoeletricas. Isso se dá principalmente pelo baixo nível de investimento e políticas públicas que não incentivam a geração de energia elétrica de fontes renováveis.

Ainda de acordo com o BEN, a maior parcela do consumo de energia em edifícios se dá pelo condicionamento artificial de ar, isso faz com que essa pesquisa tenha relevância à medida que impacta diretamente na maior eficiência do consumo de energia do país.

O condicionamento artificial de ar tem cada vez mais aumentado nas residências no mundo todo. O que Kalvelage (2014) destaca, no entanto, é que esse condicionamento tem cada vez mais uma diminuição da demanda de energia para aquecimento das unidades e mais consumo para o resfriamento delas.

Com a avaliação das estratégias de arquitetura passiva para a região de Curitiba, a continuidade desses estudos implica em um melhor resultado no conforto térmico no interior do edifício e, portanto, menor consumo de energia com essa finalidade.

Por fim, vale destacar que dos resultados obtidos pode se concluir quais são os padrões construtivos mais adequados às estratégias recomendadas pelo Diagrama Bioclimático. Isso resulta futuramente em um consumo mais consciente dos materiais empregados, gerando dessa forma economia de recursos para o emprego na construção civil.

⁴ Balanço Energético Nacional

1.5.2 Justificativa social

Dada a importância do conforto térmico para os ocupantes dos edifícios, o estudo sobre a aplicação das estratégias de projeto e de técnicas construtivas de acordo com a determinação da Norma será de grande importância.

Ainda, conforme Schmid (2012), no que diz respeito aos atuais lançamentos imobiliários, fatores essenciais, em destaque o aspecto do conforto térmico, vêm sendo deixados de lado. Muitas vezes são utilizados projetos de edifícios com técnica construtiva e padrão de acabamentos similares em regiões diversas no país. De acordo com o autor, a ausência de regionalização dos projetos e empreendimentos destaca-se quando o clima desto das práticas. Isto chama a atenção em Curitiba, uma capital em região de clima temperado, com períodos do ano sob temperaturas médias notavelmente mais baixas que aquelas registradas nas demais cidades brasileiras. Ao lado disto, uma amplitude térmica comumente acima de 10°C constitui outro desafio para a arquitetura residencial.

A avaliação do conforto térmico e definição de padrões construtivos adequados para atingi-lo são definitivamente de importância para todos.

1.5.3 Justificativa econômica

O conforto térmico não só faz os ocupantes confortáveis como também orienta o consumo energético do edifício (SINGH *et al.*, 2009). Considerando isso, a avaliação do desempenho térmico da edificação de acordo com os padrões construtivos orientados pela NBR 15.220 auxilia no dimensionamento da energia necessária para condicionamento de ar interno do edifício, além de que ao buscar o padrão construtivo mais adequado ao clima o edifício construído tenderá a possuir maior valor agregado.

A aplicação da arquitetura passiva e o domínio de sua tecnologia, como exposto na justificativa ambiental, orientam para um consumo mais consciente e eficiente da energia elétrica para fins de condicionamento de ar do edifício. Com isso, pode se prever que o investimento em tecnologia de aquecimento e resfriamento passivos demandam menos energia elétrica e, portanto possibilita a redução à longo prazo de investimento do setor elétrico para esta demanda.

1.5.4 Justificativa tecnológica

Curitiba, local em que se situa essa pesquisa, possui um clima raro no Brasil, predominantemente clima tropical, e que tem em sua arquitetura vernacular práticas que atendem principalmente as demandas de locais quentes. Essa arquitetura acaba por ser extrapolada para todo o território, incluindo aqueles de clima mais frio, como é o caso do município estudado.

Ao se verificar a distribuição das Zonas Bioclimáticas determinada pela Norma Brasileira de Zonas Bioclimáticas Brasileiras, a NBR 15.220-3, objeto de estudo, se constata que a região estudada possui apenas oito cidades com características homogêneas e, portanto pertencentes à Zona Bioclimática 01.

Ainda, se verifica que o Diagrama Bioclimático sobre o qual a Norma foi desenvolvida se baseia mais em estudos sobre climas quentes do que temperados. Resultado disso é a pequena quantidade de pesquisas nacionais relacionadas ao tema de conforto térmico para esse clima. A conclusão desse estudo deverá contribuir para melhor conhecimento da Zona Bioclimática 1, especificamente a cidade de Curitiba.

Finalmente, o estudo é justificado pela constante necessidade de aprimoramento das tecnologias construtivas e da racionalização do consumo dos materiais. É principalmente com o desenvolvimento de pesquisas que se pode aperfeiçoar as tecnologias construtivas. Também quanto à fase de operação do edifício, na qual ocorre maior consumo de energia elétrica, o desenvolvimento de arquitetura solar passiva permite a diminuição do consumo de energia para o condicionamento de ar.

1.6 CONTEXTUALIZAÇÃO NO PROGRAMA

Dentro do PPGECC- Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil da UFPR, na área de ambiente construído, comumente tem se desenvolvido pesquisas relacionadas com estudos sobre o desempenho térmico dos edifícios, assim como de arquitetura passiva.

Em 2008 foi desenvolvida pesquisa com o título “O tratamento de aspectos de conforto térmico em residências do período modernista em Curitiba”, por Caroline Machado.

Recentemente a aluna Paula Grünberg desenvolveu o tema “Análise do Desempenho Térmico de Edificações Multifamiliares: Estudo de Caso em Joinville/SC”.

Anteriormente Mazzarotto pesquisou a respeito do “Uso do sistema de fachadas duplas ventiladas em edifícios em Curitiba” e o desempenho térmico deste sistema. No mesmo ano, 2011, foi defendida por Helena Graf a dissertação “Transmitância térmica & energia incorporada na arquitetura: sua relação nas superfícies do invólucro de uma edificação residencial unifamiliar conforme a norma NBR 12721”.

Alves desenvolveu em 2014 estudo de arquitetura passiva utilizando dutos subterrâneos. No ano seguinte, produziu em conjunto com Schmid artigo publicado no periódico *Energy and Buildings* com o título: "*Cooling and heating potential of underground soil according to depth and soil surface treatment in the Brazilian climatic regions*".

Também no ano de 2014, Habib apresentou dissertação com um tema relacionado, ao analisar a energia embutida em isolantes térmicos para climatização de edificações. O autor realizou estudo de caso sobre a aplicação da lã de rocha na Zona Bioclimática 01.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente trabalho busca reunir as pesquisas que embasaram o desenvolvimento do Diagrama Bioclimático apresentado na NBR 15.220-3. A Norma, que trata do desempenho térmico e zoneamento bioclimático, determina as propriedades e estratégias construtivas de cada zona no território nacional.

Para a delimitação da aplicação de cada uma das estratégias é utilizado o diagrama, que se baseia em variáveis de temperatura e umidade. Ele foi adaptado da Carta Bioclimática apresentada por Givoni em artigo de 1992 e é utilizado como parâmetro construtivo no país.

Nesta revisão bibliográfica, aspectos relacionados ao zoneamento e às estratégias bioclimáticas são revistos. O objetivo geral deste estudo, no entanto, é compreender como foram determinados os limites de temperatura e suas estratégias de condicionamento térmico correspondentes. No texto são compilados artigos que foram relevantes para a elaboração do diagrama com base nas referências bibliográficas citadas pela Norma. Também foram revisados artigos e publicações de autores como: Givoni, Olgyay e Humphreys, de grande relevância no estudo do conforto térmico.

2.1 GENERALIDADES

No projeto arquitetônico não raramente são afastadas necessidades de conforto ambiental dos seus futuros usuários. Ao analisar os edifícios da cidade de Curitiba, por exemplo, é comum observar padrões arquitetônicos característicos de climas tropicais ou até mesmo de clima seco. A falta de identidade leva a repetição de padrões que contradizem as condições do clima local.

Também se deve destacar que a legislação local pouco exige em relação ao conforto térmico no edifício. Apenas são exigidas aberturas mínimas para ambientes de permanência. O único regulamento que trata da questão do conforto térmico dos edifícios é a Norma Brasileira de Zoneamento Bioclimático, a NBR 15.220- Parte 3, que será descrita neste capítulo.

Em climas semelhantes ao encontrado na cidade de Curitiba encontram-se referências de arquitetura notáveis, como em cidades da Austrália, África do Sul e Índia. Alguns exemplos referentes a essas localidades são revistos neste texto.

Outro importante item a ser revisado é quanto à definição do conceito de conforto térmico. Existem diferentes opiniões sobre isto e algumas das principais são revistas neste capítulo.

2.2 CONFORTO TÉRMICO NOS EDIFÍCIOS

O estudo sobre o conforto térmico nos edifícios é um tema recorrente. Com a necessidade cada vez maior do uso da energia de forma eficiente, esse assunto se torna mais importante.

Givoni foi um precursor do estudo sobre conforto térmico para países com clima quente. Ao perceber que, ao contrário dos climas frios, os edifícios de climas quentes não eram objeto de estudo específico sobre o padrão construtivo mais indicado para garantir o conforto térmico dos usuários, o autor realizou sua pesquisa.

Os estudos de Givoni iniciaram com foco principalmente em climas quentes e secos. O autor desenvolveu extensa teoria indicando estratégias específicas para amenizar as intempéries com mínimo de consumo de energia.

Segundo Givoni, os elementos principais que afetam o conforto térmico do ser humano são: temperatura do ar, radiação solar, movimento do ar e umidade. E baseado nesses foi desenvolvida a Carta Bioclimática de Givoni, que será melhor descrita no próximo item.

Para o autor, na análise do edifício em si, o envelopamento da edificação separa o ambiente interno do externo e nessa forma modifica ou previne o efeito direto das variáveis climáticas tais como ar externo, temperatura, umidade, vento, radiação solar, chuva, neve, etc. Normalmente esse envelope é composto de dois tipos de material, opaco e transparente, embora materiais translúcidos sejam incluídos eventualmente (GIVONI, 1969).

Em seu livro *Man, Climate and Architecture*, outra estratégia descrita diz respeito à cobertura. Ele recomenda que em um edifício, o número de andares pode ser ampliado diminuindo a altura dos pés-direitos, desde que sem afetar as condições de ventilação ou a necessidade de espaços ampliados nos prédios. Isso resulta em uma redução de custo por unidade habitacional, pois dessa forma se aproveita melhor os espaços.

Contemporâneo a Givoni, Olgyay infere outros aspectos relevantes pertinentes ao conforto térmico. Ele considera que a forma pela qual os fatores climáticos afetam o ser humano é um tema que se tem estudado de muitas maneiras. Um dos formatos de avaliação descreve os efeitos negativos do clima no homem expressos em tensão, dor, enfermidades e morte. Um segundo método define as condições nas quais a produtividade, a saúde e energia mental e física alcançam a sua máxima eficiência (OLGYAY, 1975).

A relação do edifício com o ambiente externo é uma preocupação constante no trabalho do autor. Segundo ele, as edificações são a principal forma que nos permite satisfazer as

exigências de conforto térmico adequadas. São elas que modificam o entorno natural e nos aproximam das condições ótimas de habitabilidade. Elas devem filtrar, absorver ou repelir os elementos do meio ambiente conforme beneficiam ou prejudicam o conforto do ser humano (OLGYAY, 1975).

Outro item a ser levado em consideração quanto ao conforto térmico relacionado com o meio urbano é a influência da densidade da cidade. Segundo Olgyay, a densidade do plano de uma cidade variará de acordo com as condições climáticas adversas ou favoráveis, e isto é evidente nas cidades que mantiveram o traçado original. Algumas cidades na América Latina foram prejudicadas pelo processo especulativo e comercial descontrolado, que destruíram antigos vínculos com o clima, de acordo com o autor.

Além da dimensão térmica, interferem no conforto ambiental os constituintes do entorno, tais como: luz, som, clima, espaço, etc. Todos eles incidem diretamente no corpo humano, o qual pode absorvê-los ou combater seus efeitos. O homem se esforça para chegar ao ponto em que adaptar-se ao seu entorno requeira o mínimo de energia (OLGYAY, 1975).

A estratégia de projeto genérica indicada por Olgyay para o clima de Curitiba (temperado) é estabelecer certo equilíbrio sazonal mediante medidas que permitam reduzir ou permitir nas estações frias a produção de calor, radiação e convecção.⁵

Ainda é importante ressaltar que, com adequado isolamento das paredes externas, estas com cores externas claras, e janelas eficientemente sombreadas, a diferenciação da temperatura interna de acordo com a orientação pode ser negligenciada. Nestas condições, o clima interior é mais dependente da ventilação e, portanto, mais dependente da orientação em relação aos ventos do que em relação aos padrões de irradiação solar. Isso se dá particularmente em regiões úmidas, onde a primeira exigência do conforto fisiológico é a movimentação de ar. Ainda assim, a parede não deve ter face direta para o vento predominante, sendo que ventos incidentes até 45° em relação à parede geram ventilação satisfatória (GIVONI, 1969).

Se, no entanto, a parede externa é escura e se grandes áreas envidraçadas não são efetivamente sombreadas, a orientação solar pode ter um forte efeito no microclima. Áreas onde a temperatura ambiente sofre influência fisiológica maior que da ventilação (onde a umidade é baixa), a orientação solar é uma consideração importante para o conforto térmico. Sob estas circunstâncias a orientação norte-sul nas fachadas principais é preferível à orientação leste-oeste.

⁵Extraído do “Resumen de las estrategias básicas” propostas por Olgyay em cada uma das quatro regiões climáticas por ele determinadas em Olgyay (2004) apud Higuera, 2006, p.71 e 72.

2.2.1 Conforto adaptativo

Em uma análise mais recente, Humphreys adiciona o conceito de conforto adaptativo à definição de conforto térmico e considera que a análise do conforto térmico não pode se reduzir à análise das características fixas do edifício.

Humphreys (2013) realizou importante estudo partindo do princípio que o conforto térmico não começa com a troca de calor, mas as adaptações de comportamento que as pessoas fazem para ficarem confortáveis. Essa adaptação ocorre de duas formas: as pessoas se adaptam ao ambiente térmico e adaptam seu ambiente às suas necessidades de conforto, tais quais abrindo janelas para melhor ventilação, ajustando o sombreamento e ajustando os equipamentos de resfriamento e aquecimento.

Para isso, a simples análise dos resultados de temperatura interna dos ambientes construídos não é suficiente, já que para o autor as pessoas estão constantemente em processo de adaptação ao seu ambiente (NICOL, HUMPHREYS E ROAF, 2012).

De acordo com Humphreys (2013), pelo princípio adaptativo, as pessoas tendem a ajustar a sua vestimenta, postura, etc. para adaptar às condições e assim ficarem confortáveis com as temperaturas que encontram normalmente, ao mesmo tempo em que ajustam a temperatura dos cômodos para chegar ao seu conforto. Este processo tende a fazer sua temperatura neutra próxima à principal temperatura que experimentam. Essa condição pode ser observada tanto no uso de edifícios com controle de temperatura natural, quanto artificial. É este processo adaptativo que é fundamental para a relação entre o conforto e temperaturas internas e externas.

Outro questionamento feito por Humphreys (2013) é se a sensibilidade ao clima depende do tipo de controle do clima. De Dear (1998) descobriu que as pessoas expostas a edifícios naturalmente ventilados são mais tolerantes do que as pessoas usuárias de edifícios artificialmente condicionados. Uma *survey*, porém, desenvolvida por Humphreys mostra que essa diferença é estatisticamente insignificante. A diferença da quantidade de pessoas que se sente mais confortável ao sair na temperatura externa quando vindas de ambientes naturalmente ventilados é de cerca de 10%.

A verdadeira disparidade entre as temperaturas de conforto e qualquer temperatura predominante externa pode ser explicada da seguinte forma: se devido às características de projeto e operação um edifício em particular é mais quente que a média, os ocupantes tenderão com o tempo a se adaptar à temperatura interna mais alta. Mais de 70% da temperatura residual entre a temperatura neutra pode ser explicada dessa forma. O estudo mostra que é

absolutamente possível utilizar o edifício com ventilação natural com variadas temperaturas externas (HUMPHREYS, 2013).

2.2.2 Estudos locais relacionados ao conforto térmico

Quando se trata de conforto térmico do edifício diretamente se discute a relação de consumo de energia. Logo, quanto mais eficiente for o desempenho térmico do edifício projetado, menor será o consumo de energia para o condicionamento de ar.

A preocupação com a eficiência energética não é fixa apenas no desempenho térmico dos edifícios, mas também no desempenho lumínico, que tem efeito direto no consumo de energia elétrica. Ghisi e Tinker (2005) desenvolveram um método usando o conceito de “Área de janela ideal”, usando o programa VisualDOE. A pesquisa foi desenvolvida em Leeds, na Inglaterra e em Florianópolis, no sul do Brasil. A intenção dos autores era de desenvolver um modelo que pudesse ser replicado para qualquer região, independentemente do clima. Embora não seja um estudo a respeito do conforto térmico, possui relação direta com o tema, na medida em que as aberturas influenciam diretamente no desempenho térmico do edifício. Para tanto, é interessante analisar tal efeito com a função de economia de energia da iluminação artificial, em relação ao desempenho térmico das unidades.

Bodach e Hamhaber (2010) investigam a eficiência energética em habitações sociais no município do Rio de Janeiro. Eles destacam o grande potencial existente no país para o desenvolvimento de projetos com conceitos bioclimáticos no intuito de economizar energia, especialmente porque a construção nesse segmento tem bastante campo para crescimento e porque a demanda por energia tem sido cada vez maior, exigindo novos investimentos no setor.

Ainda quanto à importância da eficiência energética em habitações sociais, cumpre lembrar que justamente essa camada econômica obteria redução de suas despesas, sendo assim ainda mais relevante um projeto visando à economia de energia. Considera-se no artigo que o tempo de retorno do investimento de se desenvolver um projeto de arquitetura passiva é pequeno para as condições climáticas no Brasil. Apesar da pesquisa ter sido realizada no Rio de Janeiro, local com clima diferente de Curitiba, que é o objeto de estudo. Ao verificar as condições climáticas locais, o que se percebe é que a cidade, assim como o Rio de Janeiro possui um potencial semelhante, pois conta com temperaturas amenas e dentro de condições de conforto térmico durante grande parte do ano.

2.3 CONFORTO TÉRMICO NOS EDIFÍCIOS LOCALIZADOS EM CLIMAS SUBTROPICAIS

Curitiba, local da pesquisa, possui características climáticas incomuns no Brasil. Com clima subtropical úmido, há pouca literatura no país para essas condições climáticas. Com a intenção de verificar quais são as técnicas atualmente aplicadas nos edifícios submetidos a clima semelhante foram revisadas experiências na Austrália e Índia.

Na Austrália, na região de Queensland, com clima subtropical (embora com temperaturas mais altas do que a cidade de Curitiba), foi executada uma pesquisa de campo para avaliar os conceitos de desenho bioclimático aplicado às residências existentes. Isso se deu pelo grande consumo de energia com condicionamento artificial de ar que era recorrente na região, mesmo sendo ela não propícia a essa prática (MILLER *et al.*, 2012). O que se revelou foram casas com projetos inadequados ao clima local, causando desconforto nos habitantes.

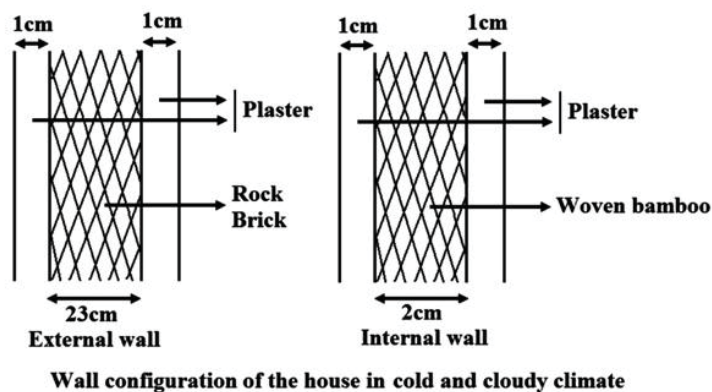
Nesta mesma pesquisa foram analisadas oito casas com aquecimento solar passivo variando algumas características como massa térmica, orientação solar, isolamento e vidros. O que se verificou foi que a temperatura do ar interno nos ambientes variava entre 18°C e 28°C durante quase todo o ano, o artigo estima que entre 77 e 97% do ano. Sendo essas temperaturas do ar satisfatórias e dentro de uma sensação de conforto térmico. O que se concluiu neste estudo foi que com apenas algumas alterações de projeto se garante o conforto térmico do edifício no clima subtropical sem a necessidade de condicionamento artificial na maior parte do ano.

Na Índia a pesquisa de campo dirigida por Singh tratou sobre desempenho térmico de construções vernaculares em diferentes zonas bioclimáticas. Foi levantada através de um *survey* a opinião dos moradores sobre as condições de conforto das suas casas. A referência utilizada para parâmetros de conforto foi a da ASHRAE. Nesse artigo foram avaliados a medição da temperatura e umidade do ar, nível de iluminação e parâmetros de projetos (SINGH *et al.*, 2009).

Na cidade de clima frio e úmido analisada no país foram analisados os isolamentos térmicos aplicados. As paredes externas possuem 25 cm de espessura total e são isoladas por argamassa e no interior tijolo de pedra, sendo este de 23 cm de espessura. Já nas paredes internas a espessura total é de apenas 4 cm. A sua composição típica é de lã de bambu e acabamento também em argamassa (Figura 1).

Nessa pesquisa se verifica a aplicação do conceito do uso de massa térmica para aumento da inércia térmica, descrita por Givoni, para amenizar os impactos da temperatura externa no ambiente construído.

FIGURA 1- PAREDE EXISTENTE EM CONSTRUÇÕES VERNACULARES EM CIDADE DE CLIMA NUBLADO E FRIO DA ÍNDIA.



Fonte: (M. K, SINGH et al.,2009)

A conclusão para o desempenho dos edifícios vernaculares em climas frios e com nebulosidade foi de que as construções atendem aos níveis mínimos de conforto para todos os meses estudados, com menos intensidade nos meses de inverno. Isto se deve ao baixo nível de isolamento e a baixa inércia térmica das paredes externas.

Também se chegou à conclusão de que em casas com arquitetura vernacular, devido à maior possibilidade de controle do ambiente (como por exemplo, a regulagem das aberturas de modo a diminuir a ventilação), faz com que os ambientes também sejam mais agradáveis do ponto de vista térmico.

Essa experiência se mostra de grande valia ao estudo sobre conforto térmico em climas subtropicais úmidos. Pois a flexibilidade do ambiente permite que haja adaptações na edificação no decorrer do ano. Para um clima que não apresenta temperaturas regulares, diferentemente do restante do Brasil, esse princípio pode ser um importante a ser adotado em projetos arquitetônicos.

2.4 CARTA BIOCLIMÁTICA DE GIVONI

No artigo publicado em 1992 sob o título traduzido: Conforto, Análise do Clima e Diretrizes para Projetos de Edifícios, Givoni marcou o estudo sobre conforto térmico. Usado como base para a maioria das pesquisas relativas ao tema e principalmente, base para a Norma de Desempenho Térmico vigente no Brasil, a análise do artigo se faz imprescindível.

No artigo é discutida a problemática de aplicar diagramas bioclimáticos de Olgyay e as normas de conforto térmico da ASHRAE para edifícios não condicionados especialmente em países quentes e em desenvolvimento. Foi a primeira vez que diagramas bioclimáticos revisados foram apresentados.

Os diagramas são de grande importância, de acordo com Givoni, à medida que auxiliam a visualização das condições climáticas como um todo com dados quanto à temperatura e à umidade. Além disso, a zona de conforto expressa no diagrama é a faixa de condições climáticas sob as quais a maioria das pessoas se sentiria confortável. Atingir essa zona de conforto no ambiente construído é o objetivo do projeto arquitetônico.

Para se alcançar a "zona de conforto" Givoni delimita áreas no diagrama com estratégias de projeto definidas, conforme será descrito a seguir.

2.5 NORMAS DE CONFORTO TÉRMICO EXISTENTES

A normativa brasileira, que trata do desempenho térmico dos edifícios, portanto a que deveria assegurar as condições mínimas de conforto térmico para o país, possui referências em outras normas. A principal base de referência, além do Diagrama Bioclimático de Givoni, conforme citado anteriormente é o Manual da ASHRAE.

A *American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineer*, mais conhecida como ASHRAE foi fundada em 1894. A Sociedade e seus membros enfocam sistemas prediais, eficiência energética, qualidade do ar interno, refrigeração e sustentabilidade na indústria. (ASHRAE, 2016)

Para a determinação da Zona de Conforto considerada em seu Diagrama, Givoni usa como referência o Manual da ASHRAE e é esse o diagrama que foi usado como referência para a NBR 15.220-3, objeto deste estudo.

A zona de conforto determinada pelo Manual da ASHRAE e que é demarcada no diagrama psicrométrico desenvolvido por Givoni considera padrão as pessoas sedentárias usuárias de edifícios dentro dos quais o sistema mecânico tem de manter o clima interior. Essa Zona foi construída principalmente usando como base edifícios de escritórios com ar-condicionado, mas também é utilizada para Avaliação do clima interior em edificações residenciais (GIVONI, 1992).

Aqui se verifica uma questão importante: apesar de ser utilizado como parâmetro para edifícios residenciais na Norma Brasileira de Desempenho Térmico, o diagrama de Givoni se baseia em dados de edifícios de escritório condicionados artificialmente. A extrapolação desse

diagrama desconsidera que o uso das duas tipologias é bastante diferente. Enquanto no uso residencial, de maneira genérica, a permanência se dá majoritariamente desde o final do dia até a manhã do dia seguinte, no uso comercial a atividade ocorre principalmente durante o dia. Apenas esse fato isolado já é suficiente para se concluir que as estratégias de refrigeração ou aquecimento nos períodos em que o edifício não é utilizado são diferentes.

Também se for considerado o conforto adaptativo descrito por Humphreys, conforme o capítulo anterior, a condição do edifício ser artificialmente condicionado influencia diretamente nas condições de conforto estabelecidas. Sendo que pessoas que vivem em ambientes naturalmente ventilados tendem a aceitar uma faixa maior de temperatura de velocidade do ar como confortável.

2.5.1 O Diagrama Bioclimático

Em estudos iniciais desenvolvidos no ano de 1969 e descritos no seu livro. O Diagrama Bioclimático do edifício (BBCC) desenvolvido por Givoni possui os contornos da zona de conforto e as diferentes estratégias de projeto baseados na temperatura interna do edifício e não externa como se vê posteriormente.

Os contornos originais de conforto foram baseados em pesquisa concluída nos EUA, Europa e Israel. Segundo o autor pode se assumir que esses contornos são mais flexíveis para pessoas que vivem em climas quentes e úmidos e em países em desenvolvimento. A extensão desses limites é considerada no diagrama apresentado no artigo.

Posteriormente em seu artigo, o autor descreve as estratégias de projeto. Porém elas se referem apenas à refrigeração. São sugeridas pelo diagrama as seguintes:

- 1) Ventilação diurna
- 2) Elevada massa, com ou sem ventilação diurna
- 3) Refrigeração Evaporativa Direta
- 4) Refrigeração Evaporativa indireta (por piscinas nas coberturas)

Assim como o fato de ter sido baseado no uso de edifícios comerciais, novamente há uma questão a ser avaliada de que o Diagrama Bioclimático usado como base para a Norma descreve estratégias apenas de refrigeração do ar, não de aquecimento. Estratégia essa necessária para a Zona Bioclimática 01, sobre a qual é realizada esta pesquisa.

2.6 NBR 15.220- DESEMPENHO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES. PARTE 3: ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO E DIRETRIZES CONSTRUTIVAS PARA HABITAÇÕES UNIFAMILIARES DE INTERESSE SOCIAL

A avaliação de desempenho térmico de uma edificação pode ser feita tanto na fase de projeto, quanto após a construção. Em relação à edificação construída, a avaliação pode ser feita através de medições *in-loco* de variáveis representativas do desempenho, enquanto que na fase de projeto esta avaliação pode ser feita por meio de simulação computacional ou através da verificação do cumprimento de diretrizes construtivas. (ABNT, 2005)

Na NBR 15.220-Parte 3 são apresentadas recomendações quanto ao desempenho térmico do edifício de habitação unifamiliar de interesse social aplicáveis na fase de projeto, ou seja, verificadas por simulação computacional em respeito às diretrizes pré-estabelecidas.

Além das diretrizes, a Norma também delimita as zonas bioclimáticas brasileiras. Essas zonas encontram-se atualmente em revisão. As estratégias de projeto recomendadas foram baseadas na Carta Bioclimática de Givoni descrita no item anterior. Quanto a referências normativas, além de remeter a outras partes da NBR 15.220-3, esta norma segue a ASHRAE: 1996- Algoritmos para sub-rotinas de transferência de calor no edifício.

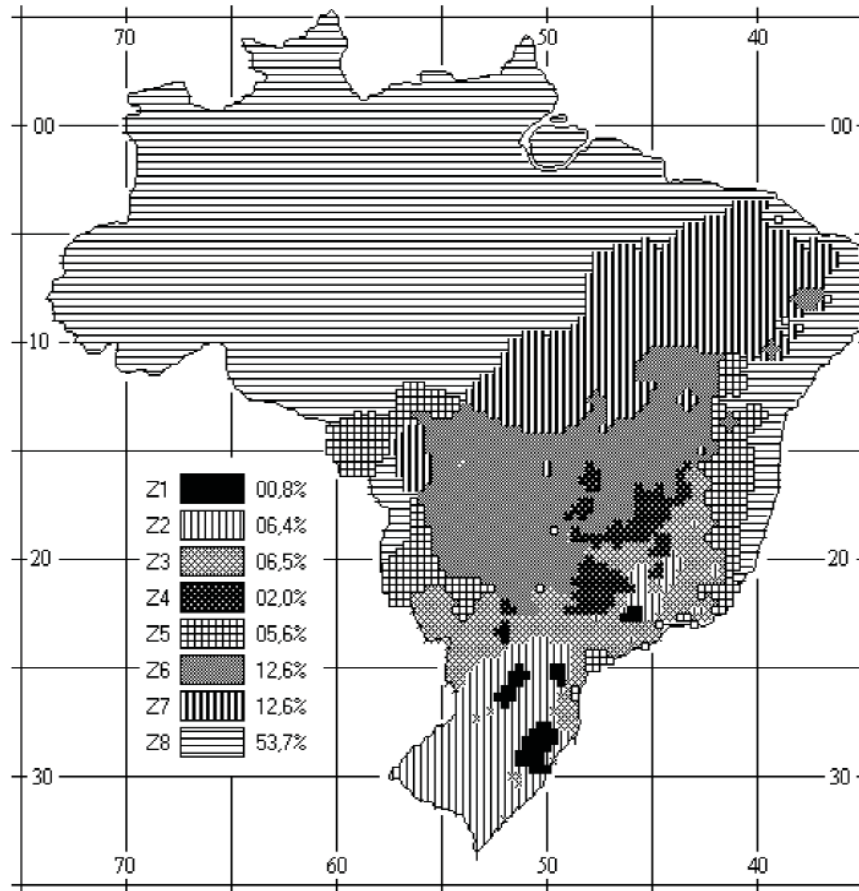
2.6.1 Carta Bioclimática

Ao se comparar o diagrama de Givoni referido na Norma nota-se que os limites de aplicação de cada estratégia não são coincidentes, assim como a base de dados dos locais estudados. Givoni concentrou seus estudos em locais de clima quente e seco, o que não representa a realidade de diversas regiões brasileiras.

Como resultado desta revisão se destaca que não foi encontrada a metodologia pela qual foram determinados os limiares de temperatura e umidade que delimitam cada uma das estratégias. Também não foram identificadas características construtivas de referência para a estratégia de massa térmica.

De acordo com a última revisão da NBR 15.220, o Brasil é dividido em oito zonas bioclimáticas (Figura 2). Elas foram determinadas a partir da divisão do território brasileiro em 6500 células, cada uma delas foi caracterizada pela posição geográfica, pelas médias mensais das temperaturas máximas, médias mensais das temperaturas mínimas e médias mensais das umidades relativas do ar (ABNT, 2005).

FIGURA 2: ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO

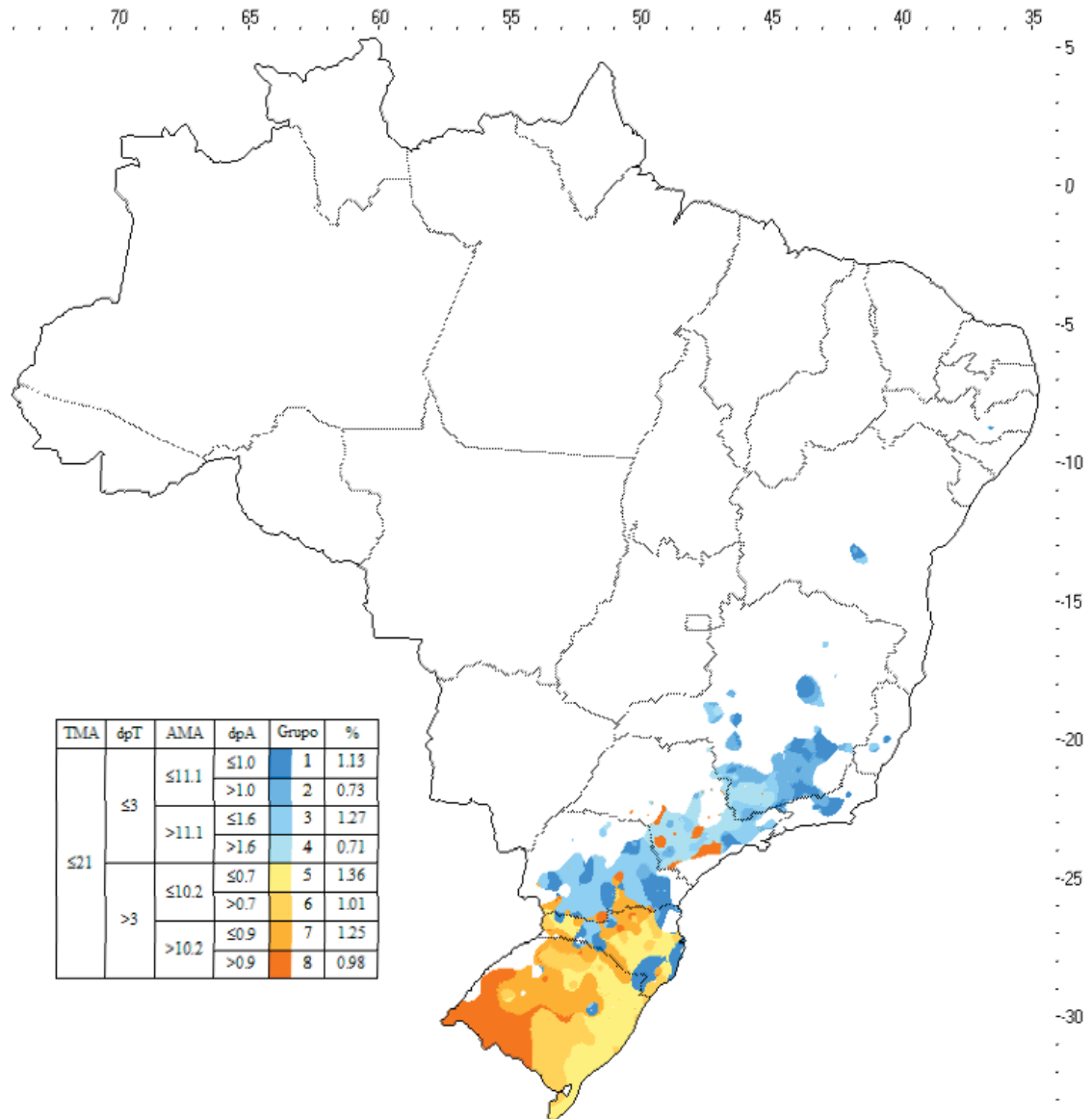


Fonte: ABNT, 2005

A referência climatológica é de dados das Normais medidas entre 1961 a 1990 para 206 cidades e de 1931 a 1960 para 124 cidades. Não é especificada na Norma qual a base de dados utilizada para cada uma das cidades. Com esses dados as Zonas foram formadas por cidades com características relativamente homogêneas quanto ao clima (ABNT, 2005).

É importante lembrar que as zonas bioclimáticas brasileiras estão sendo revisadas e atualmente a versão de março de 2014, ainda em discussão, continua determinando Curitiba como pertencente à Zona Bioclimática 01 (Figura 3).

FIGURA 3: PROPOSTA DE ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO



Fonte: RORIZ, 2014

Para cada uma das zonas definidas são determinadas estratégias específicas. Esse é um ponto de grande importância para a análise desta pesquisa. As estratégias determinam as seguintes condições: tamanho das aberturas para ventilação; proteção das aberturas; vedações externas e; estratégias de condicionamento térmico passivo.

Algumas das estratégias (aquelas para os meses quentes) foram determinadas usando-se como base o Diagrama Bioclimático que Givoni demonstrou em seu artigo de 1992. Sobre esta carta foram inseridos os dados de temperatura para cada mês do ano para cada uma das cidades. São dados de entrada: a temperatura média das mínimas, a temperatura média das máximas e a média mensal da umidade relativa do ar. Destes dados é determinada uma linha

abc, que representa as médias, onde "a" representa a média mensal da umidade absoluta (Figura 4).

A reta bc, como pode ser observada na Figura 4, representa todas as horas de um dia médio do mês considerado. Esse é o principal dado que determina quais as estratégias são recomendadas para cada Zona Bioclimática.

Para cada um dos 12 meses do ano essa reta é disposta sobre o Diagrama adaptado de Givoni. A análise se dá pelo número de horas-ano. Considera-se que quando a quantidade de horas-ano é inferior a 1%, a estratégia é desprezível. As estratégias selecionadas são as cinco principais, ou seja, as com maior incidência (ABNT, 2005).

FIGURA 4: DETERMINAÇÃO DA LINHA ABC

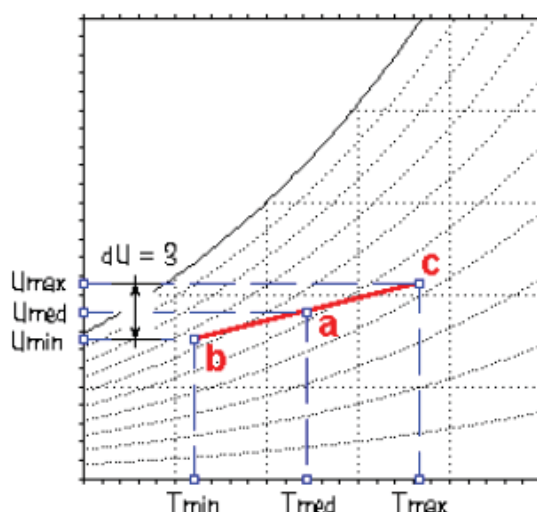


Figura B.3 – Determinação da linha abc

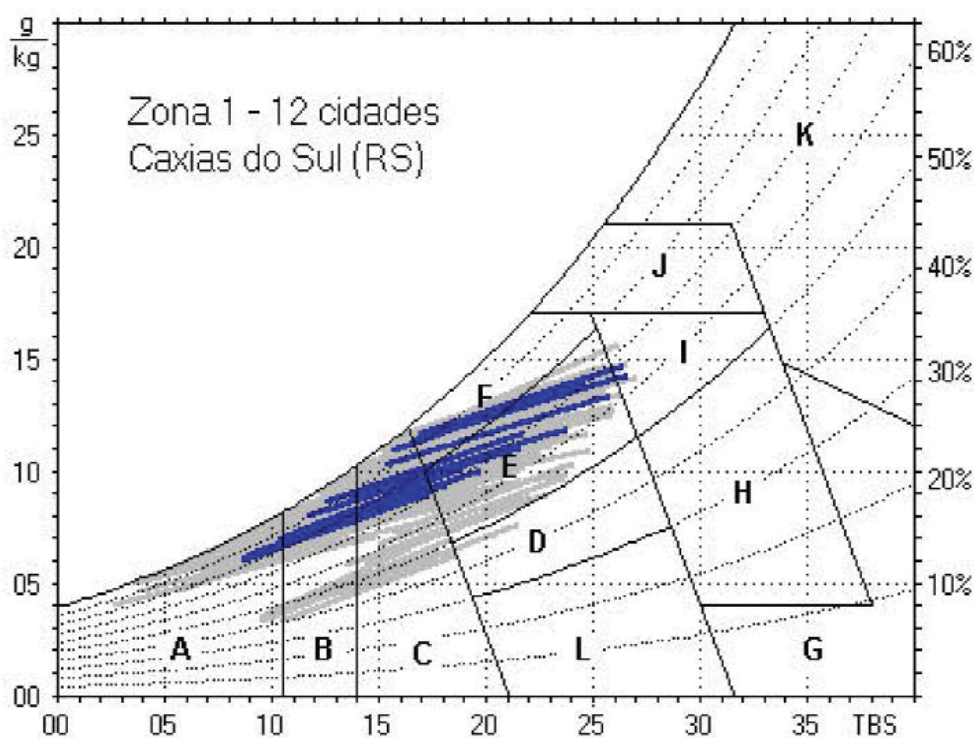
Fonte: ABNT, 2005

Como resultado dessa análise se obtém as cartas bioclimáticas referentes a cada uma das cidades avaliadas. A Figura 5, extraída do texto da NBR 15.220-3, mostra a carta bioclimática usada como referência para a Zona Bioclimática 01. Como pode se observar, as linhas azuis correspondem à média de temperaturas mínimas e máximas de cada mês do ano. As cinco estratégias de maior incidência são as recomendadas por Norma.

Essas estratégias são definidas a partir dos estudos de Givoni e parâmetros estabelecidos pela ASHRAE. Nesta pesquisa serão analisadas apenas as estratégias incidentes na Zona Bioclimática 01, na qual se localiza Curitiba, objeto de estudo.

Para a cidade de Curitiba são determinadas, como pode se verificar pela Figura 5 as seguintes cinco estratégias: Zona de Aquecimento Artificial, onde o uso de aquecimento artificial será necessário, representada pela letra "A"; Zona de Aquecimento Solar da Edificação, representada pela letra "B", onde a forma, orientação e a implantação da edificação, além da correta orientação das superfícies envidraçadas, podem contribuir para aperfeiçoar o seu aquecimento no período frio pela radiação solar. Além disso, a cor da fachada externa influencia no desempenho; Zona de Massa Térmica para Aquecimento, com a adoção de paredes internas pesadas, representada pela letra "C" e; a Zona de Desumidificação, onde a renovação de ar interno por ventilação ajuda na sensação de conforto, esta representada pela letra "F".

FIGURA 5: CARTA BIOCLIMÁTICA PARA A ZONA 1



Fonte: ABNT, 2005

2.6.2 Parâmetros Construtivos para a Zona Bioclimática 01

Com o objetivo de se alcançar o conforto térmico no espaço interno do edifício os parâmetros determinados em Norma devem ser respeitados (Quadro 1). Posteriormente, no capítulo 4, são descritos os resultados da aplicação dessas estratégias.

QUADRO 1: PARÂMETROS PARA EDIFICAÇÕES DA ZONA BIOCLIMÁTICA 01

Parâmetros	Estratégia
Aberturas para ventilação	Médias
Sombreamento das aberturas	Permitir sol durante o período frio
Parede Externa	Leve
Cobertura	Leve isolada
Condicionamento térmico passivo	B) Aquecimento Solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica) - O condicionamento passivo será insuficiente durante o período mais frio do ano.

Fonte: ABNT, 2005

O parâmetro indicado quanto às aberturas para ventilação indica que elas devem ser de dimensão média, isso significa que devem estar entre 15% a 25% da área do piso dos ambientes de longa permanência. O sombreamento das aberturas para o período do frio não tem parametrização precisa, sendo apenas esse texto a sua referência. Falta aqui uma definição na Norma do que seria essa estratégia. Os parâmetros relativos à parede externa e à cobertura são melhor descritos na Tabela 1. Eles se referem às estratégias indicadas no Quadro 1.

Para as simulações realizadas nesta pesquisa esses foram os dados de referência. Para o programa utilizado, *EnergyPlus*, esses dados de entrada não foram suficientes. Além desses parâmetros foram utilizados valores referência descritos na mesma NBR e outros necessários para a simulação foram pesquisados diretamente com os fabricantes.

TABELA 1: REQUISITOS DO DESEMPENHO TÉRMICO PARA A ZONA BIOCLIMÁTICA 01

Vedações Externas	Transmitância térmica - U (W/m ² K)	Atraso Térmico-φ (Horas)	Fator Solar- FSo (%)
Parede Leve	$U \leq 3,00$	$\Phi \leq 4,3$	$FSo \leq 5,0$
Cobertura Leve Isolada	$U \leq 2,00$	$\Phi \leq 3,3$	$FSo \leq 6,5$

Fonte: ABNT, 2005

2.7 CLIMA DA CIDADE DE CURITIBA- PARANÁ

Nesta seção é descrito o clima da cidade de Curitiba. A partir do levantamento dos dados climatológicos do município busca-se a visão global do comportamento térmico da cidade.

Curitiba, segundo a classificação de Köppen- Geiger, pertence à classe *Cfb*, ou seja, é considerada de clima temperado. Quanto à classificação dada pela NBR 15.220/2005- parte 3 a cidade pertence à Zona Bioclimática 01, devido a fatores de temperatura e umidade. De acordo com a classificação de Olgyay Curitiba situa-se em uma zona climática chamada: Zonas Continentais e das Costas Orientais. Essas zonas são definidas pelo autor como aquelas que têm uma grande amplitude térmica e onde predominam as chuvas no verão. São climas do tipo cantonês, com ciclones tropicais no verão nas áreas litorâneas, com ondas de frio no interior e a presença de ventos frios, com os Pampas, na Argentina. Também é considerada pelo autor uma Zona Fria, com as estratégias de projeto já descritas neste trabalho.

De acordo com Krüger e Givoni (2007), a temperatura da cidade é influenciada também pelas ilhas de calor que alteram significativamente a amplitude térmica local. Os autores realizaram pesquisa que analisa a influência deste fenômeno na temperatura do ar de Curitiba. Apesar dos dados da pesquisa serem levantados apenas durante o inverno, eles auxiliam e refletem uma importante preocupação com a influência da ocupação na temperatura dos edifícios. Embora os dados de temperatura resultantes sejam de grande relevância para o estudo eles não foram considerados na simulação apresentada por este trabalho. Sugere-se, no entanto, que futuramente esses dados consolidados sejam aplicados na pesquisa de desempenho térmico referida no presente estudo.

2.7.1 Dados climáticos de Curitiba

A base de dados com relação ao clima, temperatura e umidade será a partir dos dados do INPE⁶, cuja estação na cidade de Curitiba está localizada no aeroporto Afonso Pena, no município de São José dos Pinhais, pertencente à Região Metropolitana de Curitiba (Quadro 2).

QUADRO 2: DADOS LOCALIZAÇÃO ESTAÇÃO CURITIBA

Estação Curitiba	
Latitude	-25,52°

⁶ INMET- Instituto Nacional de Pesquisa Espacial.

Longitude	- 49,17°
Altitude	923,50 m

Fonte: INPE, 2016.

Os dados históricos são referentes ao ano de 1961 até 2015. A inconsistência dos dados de temperatura históricos de Curitiba é lembrada por RORIZ ⁷.

"Lamentavelmente, a grande maioria dos dados climáticos registrados no Brasil trazem inúmeras lacunas e não apresentam a qualidade mínima desejável para o presente estudo. Cabe citar, como exemplo, as próprias Normais Climatológicas do período 1961-1990, que, mesmo após serem revistas pelo INMET, ainda suscitam dúvidas sobre sua plena confiabilidade. Já no prefácio do CD divulgado em 2009, ao mencionar as normas de qualidade recomendadas pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM) o diretor daquele Instituto alerta que "as recomendações da OMM foram observadas sempre que possível, mas não ao ponto de se eliminar dados aparentemente de boa qualidade". No entanto, faltou informar quais critérios foram adotados para definir esta "boa qualidade aparente"

Para a simulação, cujos resultados são descritos no capítulo 4 deste trabalho, a base de dados de temperatura utilizada foi extraída do sítio do EnergyPlus em formato EPW e será melhor detalhada no capítulo 4.

2.8 ESTUDOS PRÉVIOS A RESPEITO DA APLICAÇÃO DAS NORMAS

Lamberts⁸ possui extenso estudo no que diz respeito ao desempenho térmico dos edifícios. Foi desenvolvido por ele um estudo de comparação do desempenho térmico comparando o padrão ANSI/ASHRAE Standard 90.1—2007 e o selo de eficiência energética brasileiro, o PROCEL. A avaliação se deu em edifícios residenciais e comerciais nas cidades do Rio de Janeiro, Brasília e Belém (nenhuma dessas cidades pertence à zona bioclimática na qual Curitiba está inserida). O que se concluiu foi que para edifícios residenciais, o modelo referente ao ANSI/ASHRAE Standard 90.1—2007 teve um consumo de energia superior ao nível C brasileiro⁹ (LAMBERTS *et al.*, 2014).

⁷RORIZ, M. Classificação de Climas do Brasil- Versão 3.0. ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. São Carlos - SP. março de 2014.

⁸ Roberto Lamberts - Professor, Universidade Federal de Santa Catarina

⁹ Nível de Etiquetagem de Edifício Residencial de acordo com o Programa PROCEL EDIFICA. Classificação de acordo com a envoltória, sistema de iluminação e condicionamento de ar.

O que se concluiu foi que a ANSI/ASHRAE Standard 90.1—2007, por dividir o Brasil em apenas duas zonas bioclimáticas, diferentemente da Norma Brasileira que o divide em oito, causa resultados insatisfatórios, que não consideram a complexidade de cada clima.

Outra pesquisa importante sobre desempenho térmico se refere ao uso do *EnergyPlus*. Para Ghisi (2011), programas tais como o EnergyPlus são ferramentas importantes para analisar o desempenho térmico de casas. Algumas diferenças nos resultados em relação a um levantamento de campo provavelmente se dão por o programa considerar uma distribuição de ar perfeita.

O artigo teve como objetivo avaliar a influência das propriedades térmicas da envoltória no desempenho térmico de casas ocupadas e ventiladas naturalmente. Na análise pelo programa em casas na região de Florianópolis, Santa Catarina, indica-se que o uso da ventilação constante durante o dia no verão é desfavorável ao conforto dos usuários. A simulação nesse estudo mostrou que a envoltória do edifício ocupado e com ventilação natural influencia no desempenho térmico. Foi também verificado que a capacidade térmica equivalente foi a propriedade com maior correlação com as horas de desconforto. Paredes com tijolo duplo maciço e lã de rocha obtiveram os melhores resultados. Transmitância térmica foi a característica da envoltória com a menor relação com as horas de desconforto, em qualquer situação (ventilação ou não, ocupada ou não) (GHISI *et al.*, 2011).

Ainda de acordo com a pesquisa realizada por Ghisi (2011), para casas com ventilação natural em Florianópolis, o melhor seria a adoção de envoltória com alta capacidade térmica, já que essa propriedade resultou no menor valor de horas de desconforto.

3 MÉTODO

São descritos nesse item a metodologia empregada para a obtenção dos resultados da presente pesquisa.

3.1 DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE PESQUISA

Segundo a definição de Yin (2010), o trabalho será desenvolvido por meio de experimento, pois se trata de pesquisa que enfoca acontecimentos contemporâneos; além disso, é uma pesquisa que exige controle sobre eventos.

Primeiramente, por se tratar de uma investigação sobre como funciona o Diagrama Bioclimático desenvolvido por Givoni (GIVONI, 1992) e posteriormente adaptado para a Norma Brasileira de Zoneamento Bioclimático (NBR 15.220-3/2005). Para esta pesquisa, fatos como a forma de uso do edifício, a temperatura e umidade do ar externa são de suma importância para avaliação do desempenho térmico, objeto de análise, do edifício.

Através de simulação computacional, foi realizada a comparação entre a temperatura interna alcançada sob determinada condição climática utilizando os parâmetros construtivos especificados nas estratégias de projeto da NBR 15.220-3 com a temperatura esperada, de acordo com a Carta Bioclimática expressa na Norma.

Com a avaliação da temperatura analisou-se a aplicabilidade do Diagrama e possíveis alterações. A pesquisa seguiu as perguntas e orientações como são elencadas no mapa mental da Figura 6.

3.1.1 Unidade de análise

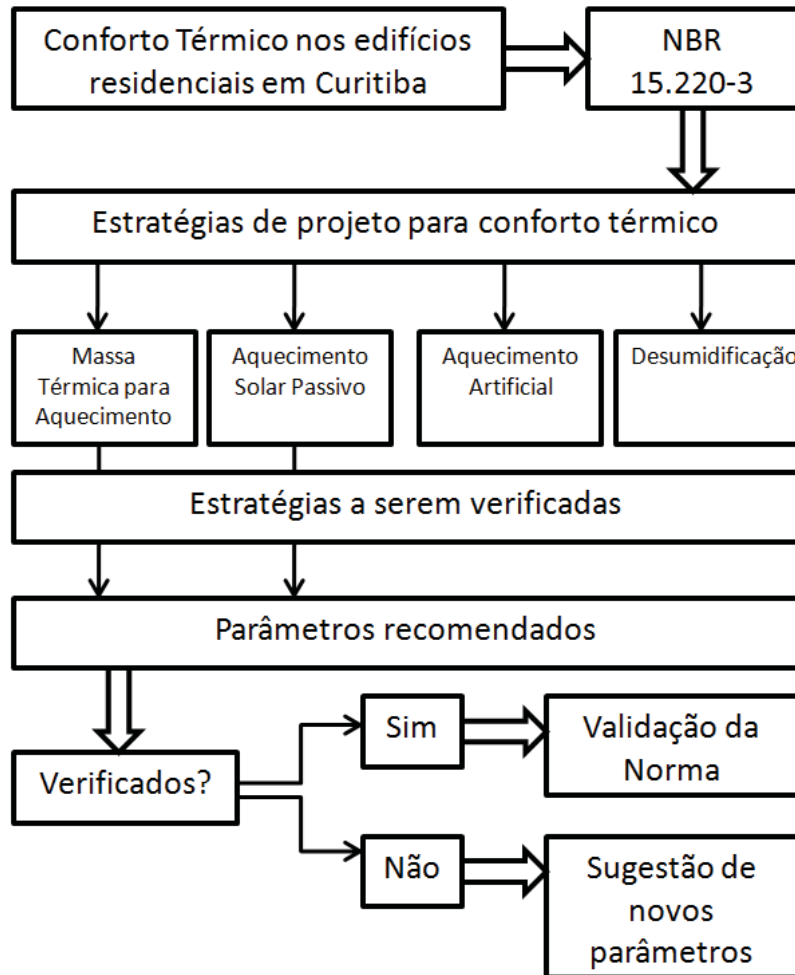
A unidade de análise é a avaliação por simulação computacional da unidade habitacional (apartamento) do edifício multifamiliar vertical em Curitiba, conforme o projeto especificado.

3.1.2 Delimitação do trabalho

O trabalho se restringirá à avaliação do desempenho térmico de uma unidade de um edifício residencial de oito pavimentos na cidade de Curitiba. A avaliação térmica se dará nos ambientes privativos e de permanência prolongada. Foram considerados para a simulação a

forma e materiais do edifício. O comportamento do usuário foi considerado de maneira genérica e não diz respeito a um público específico.

FIGURA 6- MAPA MENTAL



Fonte: o autor

No ajuste dos materiais para se atingir à zona de conforto não há análise sobre o efeito do material construtivo unitário no resultado final, foram realizadas apenas comparações globais do sistema (parede de alvenaria, parede de *dry wall*).

Será considerado o clima da cidade descrito pelo INPE, portanto desconsiderando os efeitos da ilha de calor, assim como a influência de edifícios vizinhos e sombreamento no edifício em questão. Esta análise não incluirá edifícios com menor número de pavimentos, nem aqueles de uso comercial, menos ainda aqueles em outras localidades ou regiões bioclimáticas.

3.1.3 Justificativa da escolha a partir do objetivo

A escolha da estratégia de pesquisa por experimento se deu por ser essa uma questão contemporânea, que procura responder que temperatura se atingirá no ambiente interno de um edifício a partir de estratégias de norma, e também por ser necessária a manipulação de dados (área, arranjo físico do pavimento, orientação, resistência térmica do envelope, condições de insolação e ocupação do edifício) e o levantamento de dados de temperatura e umidade do ar.

3.1.4 Testes de validade

De acordo com Robson (2002), a validade, do ponto de vista realista, se refere à acurácia do resultado. O experimento realmente corresponde, ou adequadamente capta o estado atual da ocorrência? Existe qualquer relação estabelecida na procura da verdade, ou devido ao efeito externo?

Para tanto, para a validade do experimento ser mantida deverá ser mantido o mesmo efeito externo no edifício, e caso isso não seja possível esse dado deverá ser devidamente destacado na pesquisa. O provimento de condições idênticas será de suma importância para este estudo.

3.1.4.1 *Validade do constructo*

Durante a fase de coleta de dados foram utilizadas fontes múltiplas de evidências, isso se deu principalmente na revisão bibliográfica. Para análise crítica da aplicação do Diagrama Bioclimático descrito na NBR 15.220- 3 foram coletados dados tanto da Norma, quanto dos estudos que embasaram a determinação de tais parâmetros.

O resultado é demonstrado quando estabelecida uma comparação entre os dados obtidos pelo experimento e o resultado esperado. A validade se dá pelo uso do programa EnergyPlus, programa homologado pela ASHRAE e de acordo com os parâmetros estabelecidos pela Norma.

Foram realizados diversos testes para verificar a integridade do modelo numérico do edifício considerado. Consistiram em:

- Teste visual de desenhos em perspectiva com a geometria criada;
- Modelagem incremental, com rodadas do software e verificação da coerência dos resultados antes de se aumentar a complexidade do modelo.

3.1.4.2 *Validade interna*

A validade interna trata da relação entre causa e efeito. Como nesta pesquisa houve alteração pontual e sistemática de parâmetros referentes de propriedades físicas e geometria, é possível atribuir a variação nos resultados (temperatura interna em diferentes cômodos ao longo dos meses) àquelas alterações. Tal característica é típica do procedimento de simulação com um rígido controle de variáveis.

A análise dos dados é parte essencial para determinação da validade interna da pesquisa. A pesquisa se deu por meio de experimento, com o levantamento de dados do comportamento térmico da unidade habitacional selecionada, melhor detalhado a seguir. Ela foi configurada de modo a não condicionar o seu resultado a nenhuma característica específica do espaço, buscando a consolidar como um apartamento genérico na cidade de Curitiba.

Semelhante ao constructo, a validade se dá pela utilização do programa EnergyPlus. Possíveis imprecisões podem se referir ao comportamento simulado dos usuários, por estes não possuírem comportamentos lineares.

Além disso, sabe-se que por desconsiderar o efeito da ilha de calor e dos edifícios vizinhos, o modelo pode apresentar imprecisões, mas pesquisas sobre os efeitos da ilha de calor devem ser mais desenvolvidos no local de estudo para que esta variável seja considerada no experimento.

3.1.4.3 *Validade externa*

Por se tratar de um experimento, não deverá ser considerado que os resultados possam ser generalizados. Quando da reprodução da pesquisa e averiguação de validade, deverão ser repetidas as condições simuladas. Primeiramente o local, a forma do edifício e depois as condições climáticas consideradas para este experimento.

No entanto, considera-se que os casos considerados de propriedades físicas e geometria são representativos de uma parcela relevante dos edifícios residenciais existentes, e ainda em construção. Não deve ser feita generalização a edificações térreas.

De acordo com Yin (2010), deve-se testar uma teoria através da replicação das descobertas em um segundo ou mesmo terceiro local, nos quais a teoria supõe que deveriam ocorrer os mesmos resultados. Dado isso, com uma eventual de replicação dos experimentos

em locais diferentes e averiguação com a Norma poderá ser feita uma generalização da teoria formada.

3.1.5 Seleção do caso ou amostra

A verificação por simulação computacional usou como base um apartamento residencial localizado no centro de Curitiba. O apartamento possui forma retangular com três faces verticais, as paredes externas, que trocam calor com o ar externo, uma face vertical, denominada parede externa, mas adiabática. Essa a que possui divisa com a área comum do edifício. E duas faces horizontais, laje e piso, consideradas adiabáticas para a simulação. As paredes internas respeitam a divisão demonstrada na planta (Figura 8). A seleção desse caso se deu por este representar uma grande parcela dos novos empreendimentos imobiliários da região estudada.

O estudo diz respeito a apenas ao local de estudo (Curitiba, Paraná, Brasil) e se limita ao estudo do desempenho térmico de uma unidade habitacional de uma edificação multifamiliar vertical fictícia.

A simulação computacional foi realizada avaliando o desempenho térmico do edifício obedecendo aos parâmetros estipulados pela Norma. Com as simulações organizadas em planilhas e transformadas em gráficos foi realizada a comparação entre o resultado da temperatura interna esperada e a alcançada na simulação. A partir do confronto desses dados foram estipulados os limites corrigidos para o Diagrama Bioclimático.

3.2 PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS

A partir da definição da estratégia de pesquisa e objetivo deste estudo, os dados foram obtidos e organizados conforme segue.

1. Revisão Bibliográfica para entendimento de diferentes definições de conforto térmico, dos estudos de Baruch Givoni, Diagrama Bioclimático de Givoni, que foi utilizado como base para o Diagrama Bioclimático da Norma de Zoneamento Bioclimático Brasileiro NBR 15.220-3, Norma Brasileira de Desempenho dos Edifícios e estudos em regiões com clima semelhante ao encontrado na Zona Bioclimática 01 (NBR 15.220-3)
2. Obtenção de dados climáticos no município de Curitiba do INMET e do INPE.

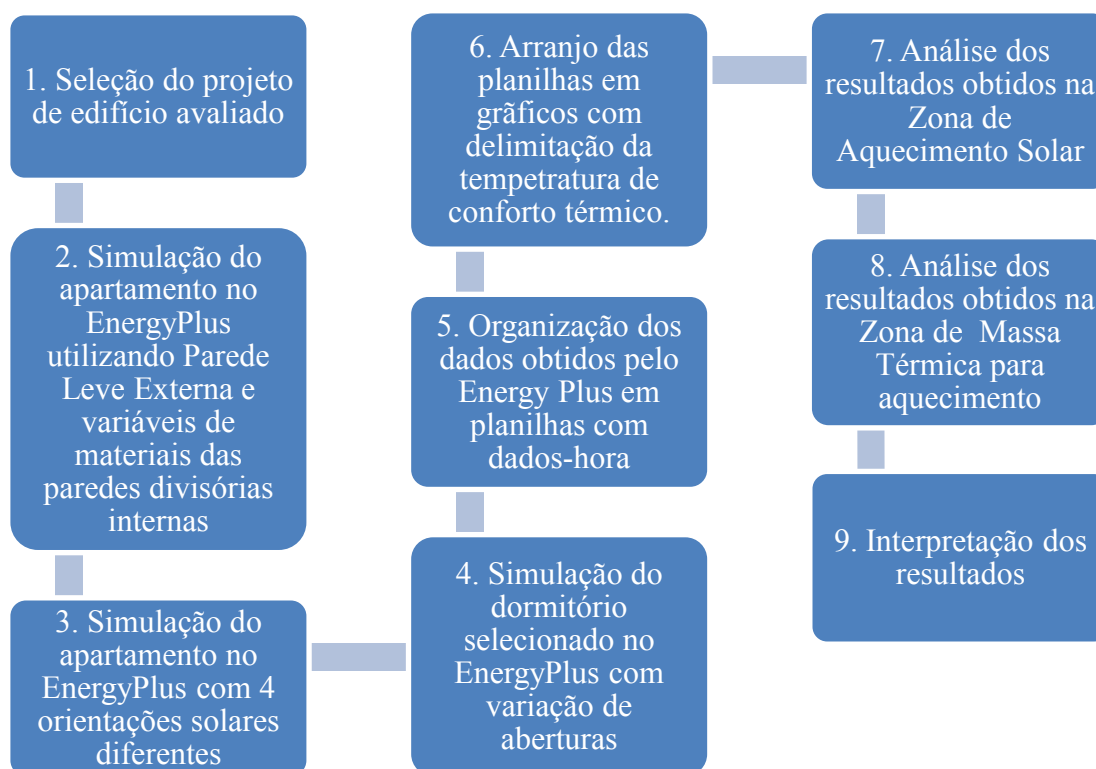
- Definição do protocolo de simulação empregado neste estudo, conforme a Figura 7 ilustra.

Para repetição deste estudo são enumerados os processos desenvolvidos para a coleta de dados usados como base para as conclusões da pesquisa.

Para reproduzir este estudo, deverão ser usados os seguintes parâmetros:

- Deverá ser usada a mesma planta da unidade habitacional, com área e orientação solar semelhante.
- Utilizar os dados do INPE sem considerar efeito da ilha de calor ou influência do sombreamento de edifícios vizinhos e também desconsiderar o regime de ventos.
- O experimento deverá ser realizado pelo Programa EnergyPlus ou outro programa homologado pela ASHRAE.
- O edifício obrigatoriamente se localizará no município de Curitiba, porém não deverá ser levado em consideração a localização deste dentro da cidade.

FIGURA 7- ORGANOGRAMA DAS ETAPAS DE COLETA DOS DADOS PARA A SIMULAÇÃO.



Fonte: o autor

3.2.1 Definição de conforto térmico

O conforto térmico é um conceito amplamente aplicado na tecnologia das construções. A sua definição abrange variadas teorias e o seu entendimento mais específico é um dos principais objetivos da revisão bibliográfica desta pesquisa. Para tanto foram revisados os autores Givoni, Olgyay e Humphreys.

Os artigos e livros desses autores serviram como base para o estudo. O Diagrama Bioclimático de Givoni exposto no artigo de 1992, *Comfort, climate analysis and building design guidelines* é a base para o Diagrama Bioclimático apresentado na NBR 15.220-3 (ABNT, 2005). O Diagrama foi amplamente revisado inclusive com publicações nacionais mais recentes que se assemelham ao apresentado em Norma.

3.2.2 Dados climáticos da cidade de Curitiba- Zona Bioclimática 01

A base de dados para as condições climáticas foi extraída do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). O ponto de coleta dos dados é no Aeroporto Afonso Pena, localizado no município de São José dos Pinhais, região metropolitana de Curitiba. Foram inseridos os dados no programa EnergyPlus utilizando a própria base contida no sítio do software (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2013).

Outra base de dados climatológicos disponível para simulação é a fornecida pelo INMET, essa extraída da área do Campus Politécnico da UFPR, no município de Curitiba. A escolha de uso dos dados do INPE para esta pesquisa se deu por ser essa a utilizada e disponibilizada pelo *software* EnergyPlus e por não apresentar diferenças significativas com as fornecidas pelo INMET.

O valor médio do índice de umidade relativa do ar, de acordo com os dados históricos, foi de 81,19%, considerando o período entre os anos de 1961 e 2015 (INPE, 2016). A título de simplificação do dado, foi adotada a umidade de 80%. Portanto, para todos os gráficos mostrados nesse estudo foi considerada a umidade relativa do ar de 80%, inclusive na comparação com os limites de temperaturas estabelecidos pelo Diagrama.

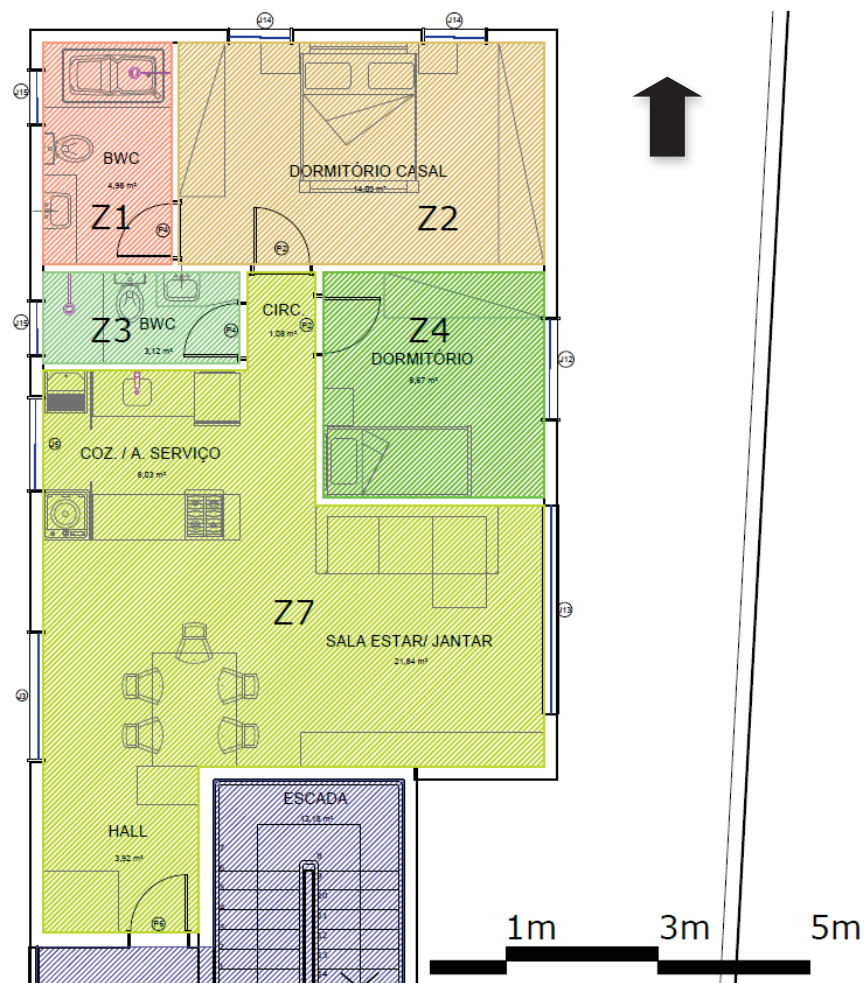
Os dados de entrada de temperatura foram utilizados em formato epw e não houve nenhuma manipulação nos dados de temperatura para a cidade de Curitiba.

3.2.3 Simulação do projeto de unidade habitacional

A pesquisa foi desenvolvida a partir de simulações executadas no software EnergyPlus versão 8.3, validado pela ASHRAE Standard 140, conforme determinado em Norma. Utilizou-se de uma mesma planta de um edifício com área de aproximadamente 70 m². O edifício é de uso residencial e está situado no centro da cidade de Curitiba. O município localiza-se no que corresponde à Zona Bioclimática 01, de acordo com a NBR 15.220-3 (2005).

O apartamento possui os seguintes ambientes: hall de entrada, salas de estar e jantar, cozinha, área de serviço, quarto de casal, quarto de solteiro e banheiros (Ver Figura 8). As áreas de cada ambiente são descritas conforme a Tabela 2. Para todos os ambientes foi considerado o pé-direito de 2,75 m.

FIGURA 8- PLANTA APARTAMENTO



Fonte: O autor

TABELA 2: ÁREAS DOS AMBIENTES DO APARTAMENTO

Ambiente	Área (m ²)
Banheiro da Suíte	4,98
Dormitório da Suíte	14,09
Banheiro	3,12
Dormitório	9,79
Cozinha	4,65
Área de Serviço	1,46
Salas	21,59
Hall de Entrada	4,49

Fonte: o autor

A orientação solar considerada "Orientação 0°" nas simulações é conforme a Figura 8, na qual a fachada Norte fica em face à rua e as fachadas leste e oeste são as de maiores dimensões. O apartamento possui as três faces expostas ao sol, sendo apenas a face Sul parcialmente não exposta. A "Orientação 90°" considera a fachada Norte como as do banheiro da suíte (Zona 2), Banheiro (Zona 3), Cozinha/ Área de serviço e Salas (Zona 7) , ou seja, edifício foi rotacionado em 90° no sentido horário. Assim se segue nas demais orientações, sempre em sentido horário em relação à posição original.

Após o desenho do projeto no EnergyPlus os materiais foram aplicados no envelopamento. A entrada de dados como resistência térmica, transmitância térmica, absorvância térmica, absorvância solar e calor específico tiveram como referência a NBR 15.220-3 e os valores por ela discriminados (Tabela 1, Revisão Bibliográfica).

Para a simulação foram consideradas as características construtivas, dimensões em planta e pé-direito dos cômodos, aberturas e tipos de portas e janelas, materiais constituintes das paredes e da cobertura. Também foram consideradas as características dos dias típicos de verão e inverno, incluindo temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar, nebulosidade, direção e velocidade do vento.

Todos os ambientes foram considerados servidos por ventilação natural e, para fins de simulação, foram consideradas as zonas, conforme o Quadro 3, a seguir.

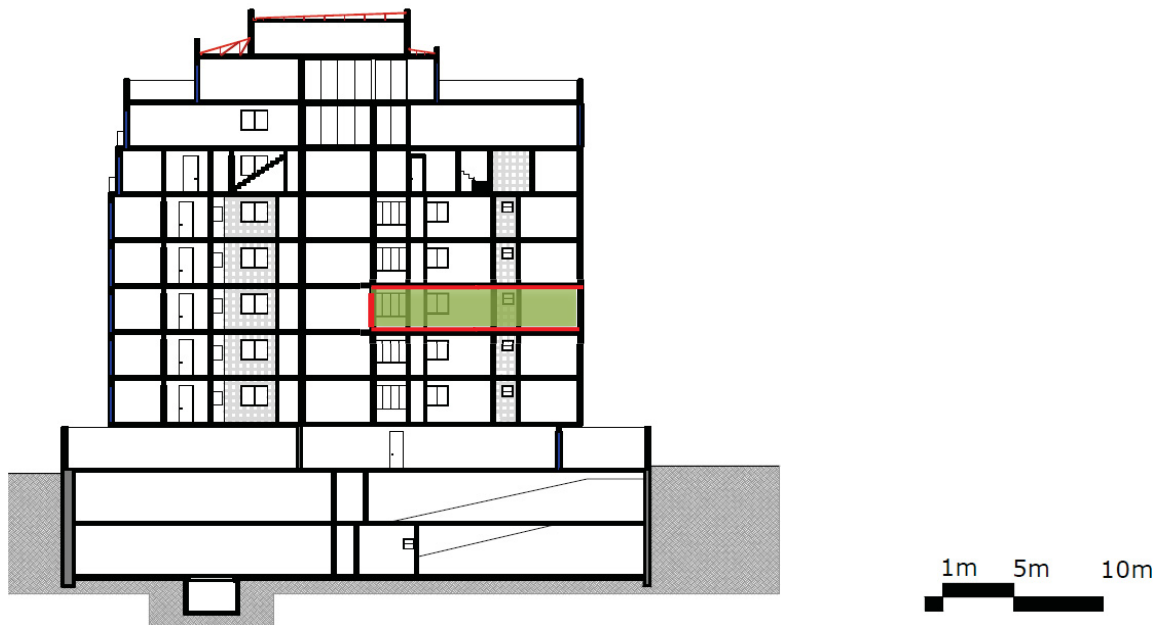
QUADRO 3: ZONAS DO APARTAMENTO POR AMBIENTE

Zona	Ambiente
Z1	Banheiro da Suíte
Z2	Dormitório da Suíte
Z3	Banheiro
Z4	Dormitório
Z7	Cozinha Área de Serviço Sala de Estar e Jantar Hall de Entrada Circulação

Fonte: o autor

Os banheiros foram simulados e considerados na simulação, mas não foram considerados na análise por não se tratarem de locais de permanência e possuírem características de uso que não colaboram para as conclusões desta pesquisa.

FIGURA 9 - CORTE EDIFÍCIO



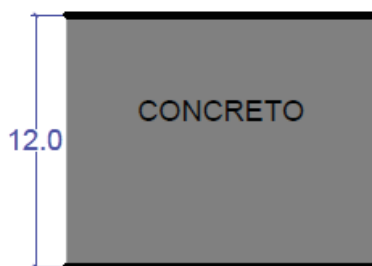
Fonte: O autor

A área hachurada no corte (Figura 9) corresponde ao apartamento que foi utilizado na simulação. As linhas vermelhas correspondem às superfícies consideradas adiabáticas, que foram: teto, piso e parede divisória com o restante do edifício. O lado direito da imagem indica a rua (frente do edifício).

Foram elaborados modelos com as variáveis conforme segue:

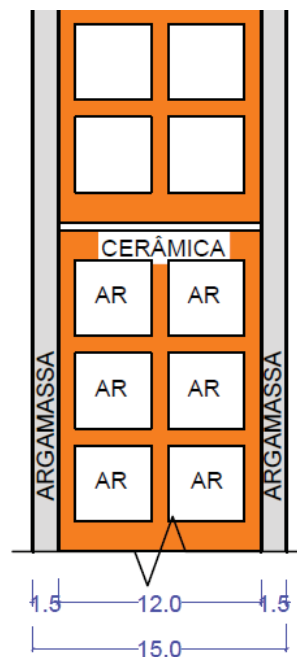
- Alvenaria interna de 12 cm (orientação da fachada principal a 0° , 90° , 180° e 270°)
- Alvenaria interna de 15 cm (orientação da fachada principal a 0°)
- *Dry-wall* interno de 7 cm (orientação da fachada principal a 0°)
- *Dry-wall* interno de 7 cm com lã de rocha (orientação da fachada principal a 0°)
- *Dry-wall* interno de 10 cm (orientação da fachada principal a 0°)
- *Dry-wall* interno de 10 cm com lã de rocha (orientação da fachada principal a 0°)
- Aberturas do dormitório de solteiro (Z4) na proporção de 1/20, 1/15, 1/12, 1/11, 1/10, 1/9, 1/8, 1/7, 1/6, 1/5, 1/4.
- Aberturas do dormitório de solteiro (Z4) na proporção de 1/20, 1/15, 1/12, 1/11, 1/10, 1/9, 1/8, 1/7, 1/6, 1/5, 1/4 com vidros duplos.

FIGURA 10- LAJE ADOTADA NA SIMULAÇÃO



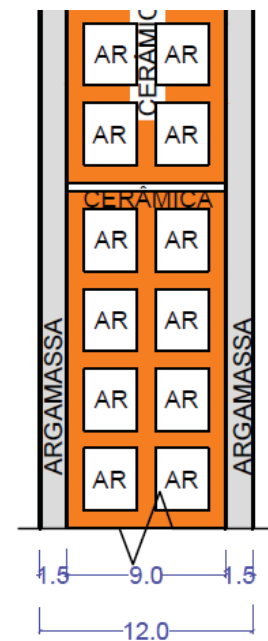
Fonte: o autor

FIGURA 11- PAREDE EXTERNA



Fonte: o autor

FIGURA 12- PAREDE INTERNA ALVENARIA 12 CM

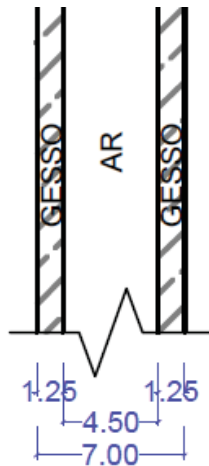


Fonte: o autor

A espessura e material da laje e cobertura (Figura 10) foram mantidos em todas as simulações, assim como a alvenaria externa (Figura 11). A laje e cobertura, assim como a parede que possui divisa com a área comum do edifício, foram consideradas adiabáticas, havendo dessa forma, apenas troca de calor entre as demais paredes e o meio externo.

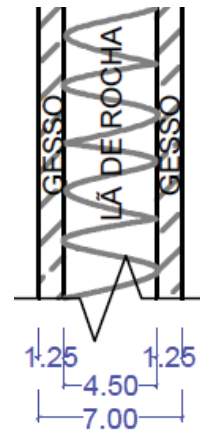
Nas alvenarias se alterou o tamanho do tijolo. Na parede de 12 cm de espessura foi considerado o tijolo de 9 cm (Figura 12) e na parede com espessura de 15 cm foi considerado o tijolo de 12 cm (Figura 11). Nas paredes *dry-wall* apenas foi alterado o espaço interno dotado de ar e a presença ou não de lã de rocha. (Figuras 13-16)

FIGURA 13- PAREDE *DRY-WALL* INTERNA DE 7 CM



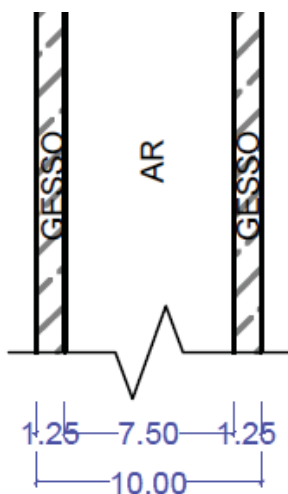
Fonte: o autor

FIGURA 14- PAREDE *DRY-WALL* INTERNA DE 7 CM COM LÃ DE ROCHA



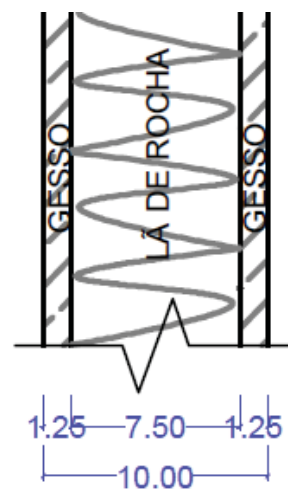
Fonte: o autor

FIGURA 15- PAREDE *DRY-WALL* INTERNA DE 10 CM



Fonte: o autor

FIGURA 16- PAREDE *DRY-WALL* INTERNA DE 10 CM COM LÃ DE ROCHA



Fonte: o autor

3.3 DADOS DOS MATERIAIS CONSTRUTIVOS

Conforme descrito anteriormente, os sistemas construtivos considerados das paredes internas foram apenas dois: alvenaria tradicional e *dry-wall*. No caso do *dry-wall* foram simuladas opções com o emprego de uma manta de lã de rocha no interior da cavidade e outras sem se alterar a espessura da cavidade. O objetivo foi de simular condições reais, pois esse material é frequentemente aplicado nas paredes de *dry-wall* com a função de absorção acústica na cavidade entre as duas lâminas de gesso.

TABELA 3: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS MATERIAIS CONSTRUTIVOS

Propriedade	Argamassa	Concreto	Madeira	Tijolo Externo	Tijolo Interno	Gesso	Lã de Rocha	Ar
Dureza do material	Semi-rígido	Rígido	Rígido	Rígido	Rígido	Semi-rígido	Não-rígido	Não-rígido
Espessura (cm)	1,5	12	3,5	variável 1	variável 1	1,25	4,8	7,5
Condutividade e (W/m-K)	1,15	1,75	0,14	0,9	0,9	0,6	0,04	1,2
Densidade (kg/m ³)	2000	2300	600	1500	1500	1500	50	1,2
Calor Específico (J/kg-K)	1000	1000	2300	920	920	1000	1000	1000
Absortância térmica	0,3	0,7	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Absortância solar	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Absortância visível	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: o autor

As propriedades dos materiais foram estabelecidas de acordo com o exposto na mesma NBR 15.220-3 e respeitaram os parâmetros exigidos. Para a simulação, o EnergyPlus demanda os seguintes dados de entrada: espessura do material, dureza do material, condutividade, densidade, calor específico, absorvância térmica, absorvância solar, absorvância visível. As características dos materiais construtivos adotados para a simulação são especificadas na Tabela 3.

Nas Figuras 11 e 12, que são as paredes de alvenaria tradicional, o conjunto de cerâmica e cavidade de ar, que são constituintes do tijolo, são considerados em conjunto na simulação.

Também foi considerado nessa simulação o efeito da radiação solar pelas aberturas. Todas as aberturas externas são de vidro e para todas as simulações são consideradas as mesmas propriedades físicas (Tabela 4), exceto na simulação com vidros duplos, que tem suas propriedades descritas na Tabela 5. Os dados não constantes nessa tabela não foram inseridos na simulação.

TABELA 4: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO VIDRO

Tipo de dado ótico	Espectral média
Espessura (cm)	0,25
Transmitância Solar em incidência normal	0,85
Refletância Solar Frontal em incidência normal	0,075
Refletância Solar Interna em incidência normal	0,075
Transmitância visível em incidência normal	0,901
Refletância Visível Frontal em incidência normal	0,081
Refletância Visível Interno em incidência normal	0,081
Transmitância de infravermelho em incidência normal	0
Transmitância de infravermelho frontal em incidência normal	0,84
Transmitância de infravermelho interno em incidência normal	0,84
Condutividade térmica (W/mK)	0,9

Fonte: U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2016

A simulação que trata das aberturas com vidros duplos foi considerada duas camadas do vidro de espessura de 6 mm e cavidade preenchida de ar.

TABELA 5: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO VIDRO DUPLO

Tipo de dado ótico	Espectral média
Espessura (cm)	0,6
Transmitância Solar em incidência normal	0,775
Refletância Solar Frontal em incidência normal	0,071
Refletância Solar Interna em incidência normal	0,071
Transmitância visível em incidência normal	0,881
Refletância Visível Frontal em incidência normal	0,08
Refletância Visível Interno em incidência normal	0,08
Transmitância de infravermelho em incidência normal	0
Transmitância de infravermelho frontal em incidência normal	0,84
Transmitância de infravermelho interno em incidência normal	0,84
Condutividade térmica (W/mK)	0,9

Fonte: U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2016

3.4 DADOS DOS USUÁRIOS

A simulação inclui dados de entrada relacionados ao uso do edifício. São considerados geradores de calor no interior do edifício as pessoas (usuários), iluminação e equipamentos elétricos. Os valores adotados procuram representar um comportamento genérico, não inferindo a um determinado público o uso desta unidade habitacional. Também é dado de entrada e ventilação dos ambientes.

Considera-se que quatro pessoas sejam usuárias deste apartamento. Isso resulta em aproximadamente 17,5 m²/ pessoa. A ocupação foi distribuída da seguinte forma: todos os moradores estão no local entre 18:00 e 9:00 do dia seguinte em atividades de repouso ou dormindo. Entre 9:00 e 12:00 apenas uma pessoa ocupa o apartamento. No horário de almoço, considerado entre 12:00 até 13:30, três pessoas se encontram no local. Entre 13:30 e 18:00 duas pessoas permanecem no apartamento e isso se repete diariamente.

Quanto à iluminação considerou-se de maneira genérica que cada m² de área da unidade habitacional seja iluminada com o consumo de 10 W. Esse consumo ocorre diariamente durante toda a semana entre 17:00 até 24:00. O mesmo consumo/área foi o considerado para os equipamentos elétricos, porém o uso é distribuído de forma diferente. (Tabela 6)

O dado de entrada quanto à ventilação dos ambientes foi considerado em trocas de ar/hora ininterruptamente e o valor adotado foi de 0,25 trocas de ar/hora.

TABELA 6: ROTINA DE USO DOS EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

Hora 1	Hora 2	Potência consumida
24:00	08:00	1,5 W/ m ²
08:01	09:00	10 W/ m ²
09:01	12:30	3 W/ m ²
12:31	14:00	7,5 W/ m ²
14:01	18:00	3 W/ m ²
18:01	22:00	10 W/ m ²
22:01	23:59	5 W/m ²

Fonte: o autor

4 INTERPRETAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

As simulações para verificar a fundamentação dos limites estabelecidos no Diagrama Bioclimático disposto na NBR 15.220-3 para esta pesquisa seguiram a metodologia previamente descrita. Os limites testados foram das estratégias de Aquecimento Solar e Massa Térmica para Aquecimento.

Em um primeiro passo da análise são avaliados dentre quais valores de temperatura externa se atinge o conforto térmico do ambiente interno. Esses valores são comparados aos limites esperados e avalia-se a aplicabilidade deles.

A alteração dos materiais, orientação solar e variação das aberturas, correspondente a cada estratégia bioclimática, teve seu resultado avaliado. Foram comparadas as temperaturas médias mensais para cada estratégia considerando o resultado anual. Por fim são propostos novos limites para as estratégias de acordo com as simulações efetuadas.

As zonas consideradas para a análise foram aquelas que correspondem às estratégias bioclimáticas recomendadas para Curitiba. As zonas são: Zona de Desumidificação, Zona de Massa Térmica, Zona de Aquecimento Solar Passivo e Zona de Aquecimento Artificial.

Nas simulações, a delimitação da Zona de Aquecimento Artificial surge como consequência, pois corresponde às temperaturas externas com as quais não é possível atingir conforto com Aquecimento Solar Passivo.

Foram testadas as técnicas recomendadas para as Zonas de massa térmica e aquecimento solar passivo e a análise dos resultados segue nos demais itens. A Zona de desumidificação não foi simulada por se entender que ela se encontra acima do teor de umidade de 80% e mesmo sendo recomendada para a cidade não corresponde ao limite de umidade considerado para esta pesquisa.

4.1 ORGANIZAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados de simulação para ano inteiro foram registrados em planilhas com a temperatura a cada hora e organizados por médias mensais, assim como são determinadas as estratégias bioclimáticas pela Norma. Os resultados foram reordenados em ordem crescente da temperatura de bulbo seco do ar externo, para que se possa observar qual a temperatura externa limite para se ter no interior, ainda, condições de conforto térmico. Em todos os gráficos está representada em hachura verde o intervalo de temperatura relativo à Zona de Conforto Térmico.

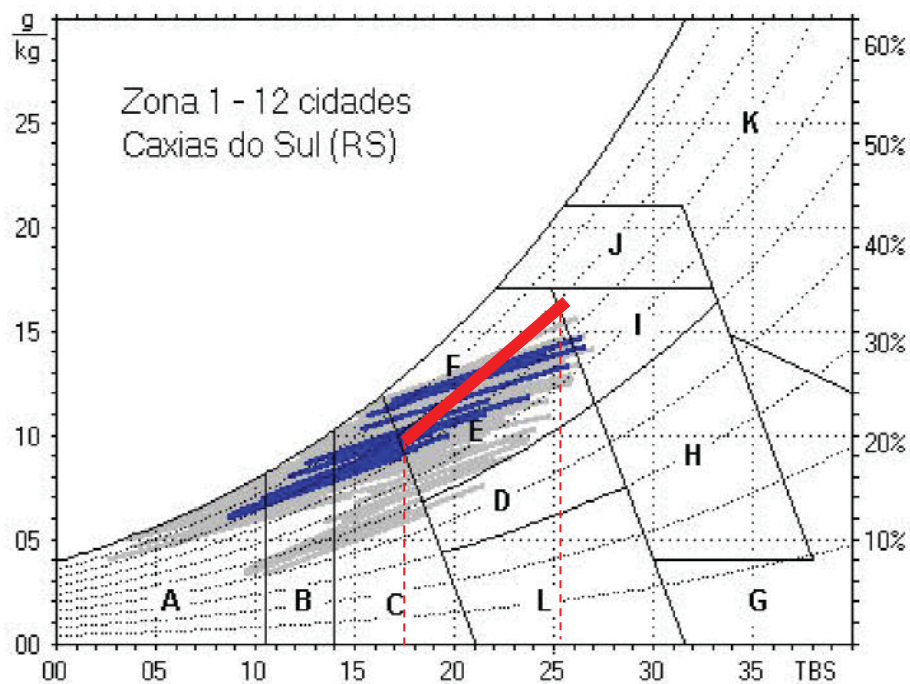
Para cada uma das simulações foram comparados os resultados de temperatura no ambiente interno em relação à temperatura do ar externo. Os valores obtidos foram comparados com os esperados pelo Diagrama Bioclimático da Norma (ABNT, 2005).

Em todas as simulações foi analisado se as temperaturas internas obtidas foram adequadas às esperadas. Nas simulações relativas à variação das aberturas e vidro duplo foi realizada comparação a fim de se concluir qual opção oferece melhor desempenho.

4.2 ZONA DE CONFORTO TÉRMICO

O conceito de temperatura de conforto térmico, conforme exposto na Revisão Bibliográfica segue diferentes conclusões. No entanto esta pesquisa trata da análise da NBR 15.220-3 e foi este o conceito de Conforto Térmico utilizado.

FIGURA 17: ZONA DE CONFORTO TÉRMICO



Fonte: Adaptado de ABNT, 2005

Portanto, a Zona de Conforto Térmico adotada foi aquela determinada pela NBR 15.220-3 para a umidade relativa do ar de 80% (umidade adotada como padrão para a cidade de Curitiba, conforme descrito na metodologia, item 3.2.2). Sob essas condições, a Zona de

Conforto situa-se no intervalo de TBS maior que 17°C e menor que 25°C (Figura 17, adaptada da NBR 15.220-3). A Zona demarcada pela letra "E" é a correspondente à de Conforto Térmico.

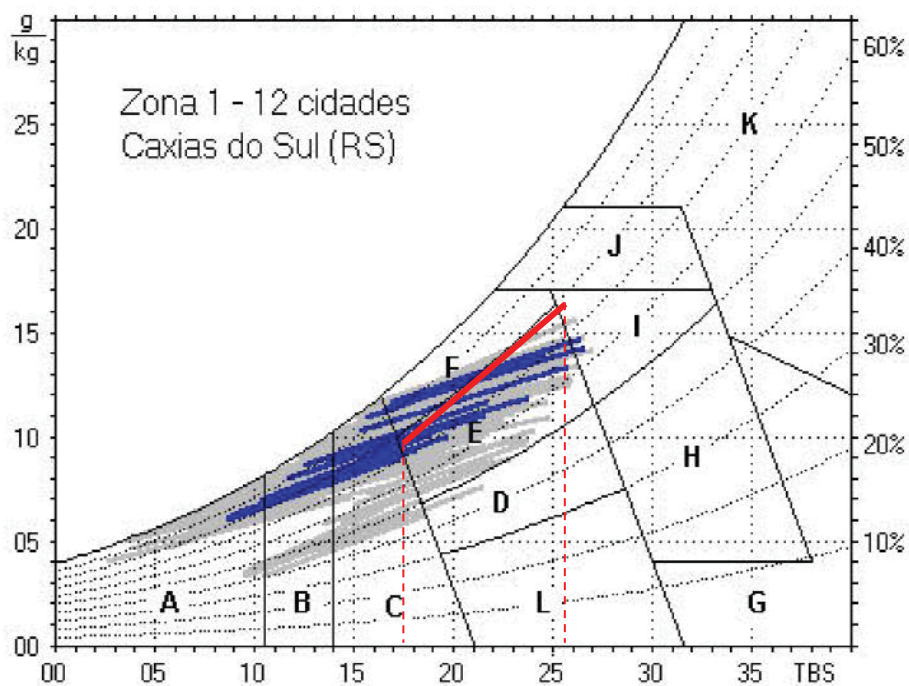
Curitiba não tem essa como estratégia recomendada, porém ela é de uso para referência das análises. Nos gráficos produzidos por esta pesquisa essa Zona é demarcada pela hachura verde. O objetivo do emprego das estratégias nas outras zonas, referidas ao ar externo, é de fazer o ar interno, na sua média diária, permanecer dentro dessa região pelo maior número de horas possível.

4.3 ZONA DE DESUMIDIFICAÇÃO

A Zona, ou estratégia, de desumidificação é denominada "F" e é uma das quatro recomendadas para a cidade de Curitiba, segundo a NBR 15.220-3. Ela deve ser aplicada para temperaturas de bulbo seco do ar externo entre 17 °C e 25 °C e umidade relativa do ar acima de 80%. (Figura 18)

De acordo com a Norma, as sensações térmicas para esta zona são melhoradas através da desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes.

FIGURA 18: ZONA DE DESUMIDIFICAÇÃO



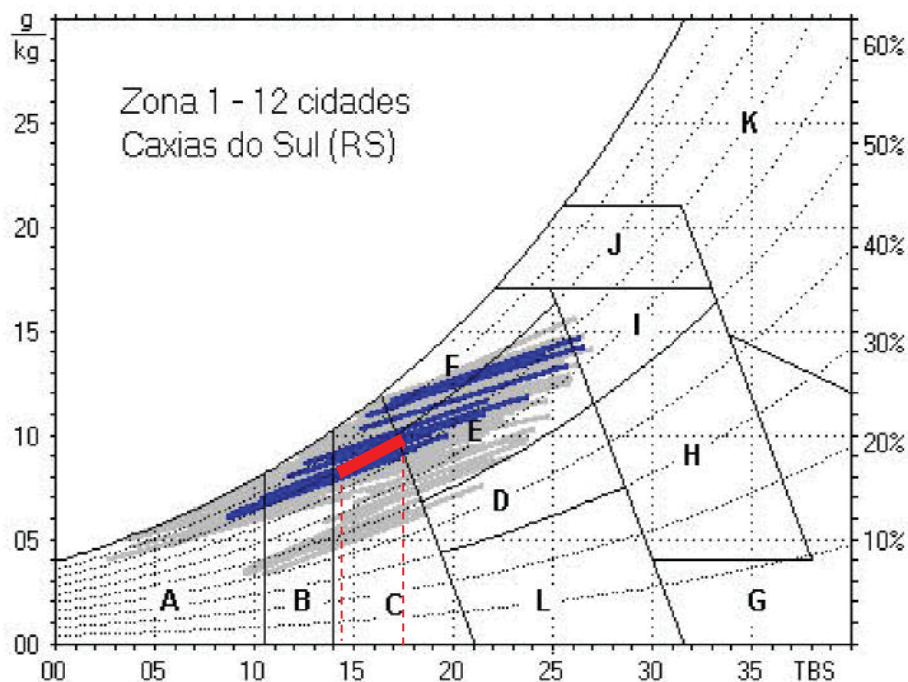
Fonte: Adaptado de ABNT, 2005

Para as simulações, a estratégia foi desconsiderada, pois adotou-se como padrão a umidade relativa do ar de 80% e sob essa umidade a estratégia não se aplica.

4.4 ZONA DE MASSA TÉRMICA PARA AQUECIMENTO

A Zona de Massa Térmica para aquecimento, demarcada no Diagrama Bioclimático com a letra "C", é aquela compreendida entre as temperaturas do ar externo de bulbo seco de 14°C a 17°C sob umidade relativa do ar de 80% (Figura 19). De acordo com a Norma, a estratégia recomendada para o condicionamento térmico nesta Zona se caracteriza pela adoção de paredes internas pesadas, as quais podem contribuir para manter o interior da edificação aquecido pelo fato de armazenarem calor durante o dia, evitando que durante a noite a queda de temperatura seja muito pronunciada.

FIGURA 19: ZONA DE MASSA TÉRMICA PARA AQUECIMENTO



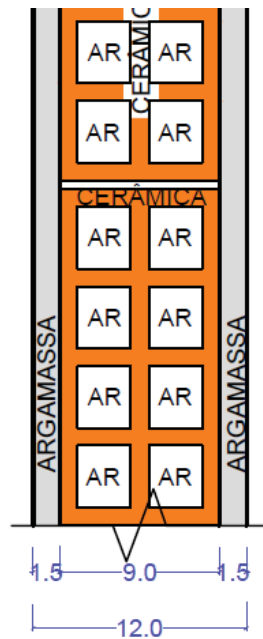
Fonte: Adaptado de ABNT, 2005

Para esta simulação foram mantidas a parede leve externa e cobertura leve isolada, mas alteradas as características das paredes internas. Na simulação do apartamento com adição de massa nas paredes internas foram adotados como materiais aqueles da alvenaria tradicional (tijolos cerâmicos furados) e o *dry-wall* (gesso acartonado).

Para cada uma das espessuras e materiais seleccionados os resultados foram comparados com quatro orientações solares diferentes. A partir das simulações com a variação de orientação solar foi escolhida a orientação de 0°, pois foi esta que resultou em melhores temperaturas de conforto. Com essa opção definida foram organizados os resultados conforme segue.

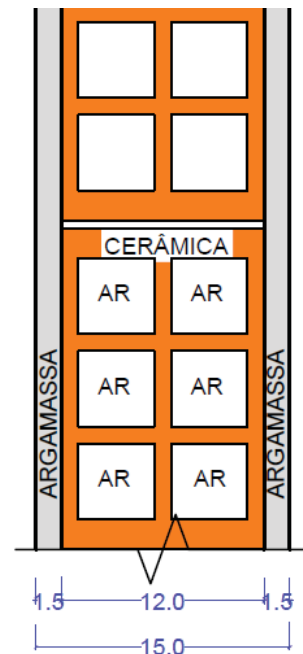
No caso da simulação com paredes em alvenaria tradicional, foi comparada a performance térmica da parede interna de 12 centímetros com a de 15 centímetros. (Figuras 20 e 21). As dimensões foram mantidas dentro de um padrão de normalidade, pois entende-se que a adição excessiva de massa nas paredes internas poderia acarretar em uma sobrecarga da estrutura do edifício e portanto não ser viável do ponto de vista financeiro.

FIGURA 20- PAREDE INTERNA ALVENARIA 12 CM



Fonte: o autor

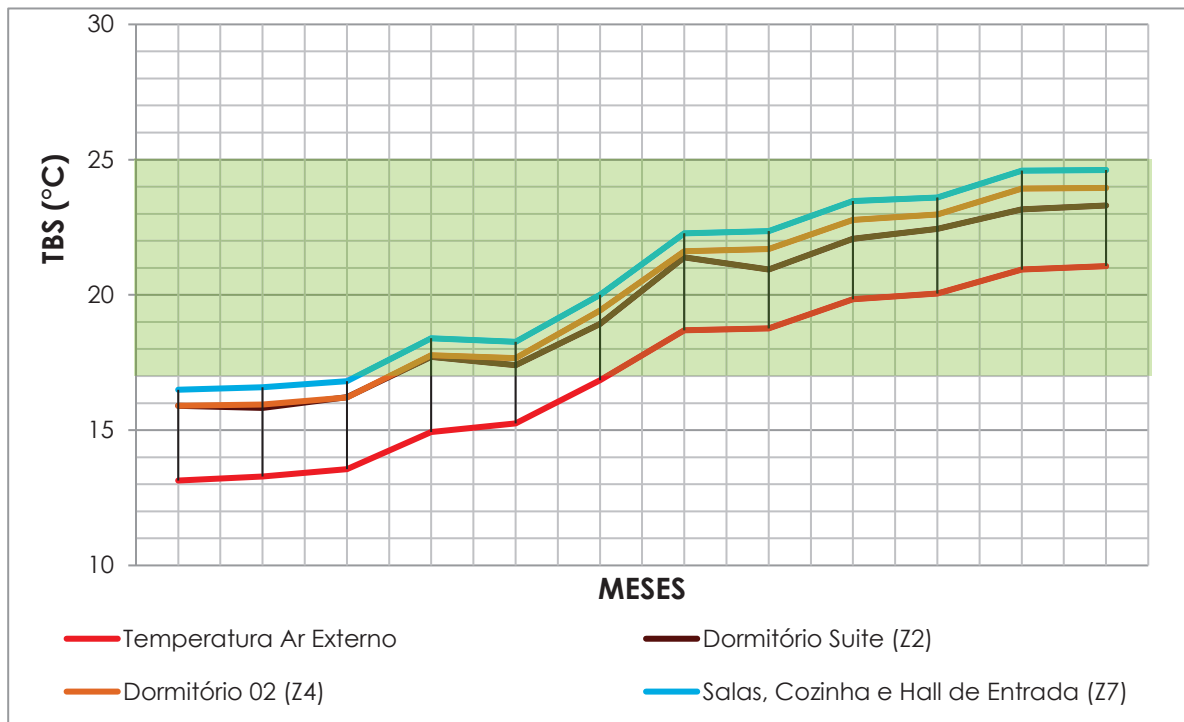
FIGURA 21- PAREDE INTERNA ALVENARIA 15 CM



Fonte: o autor

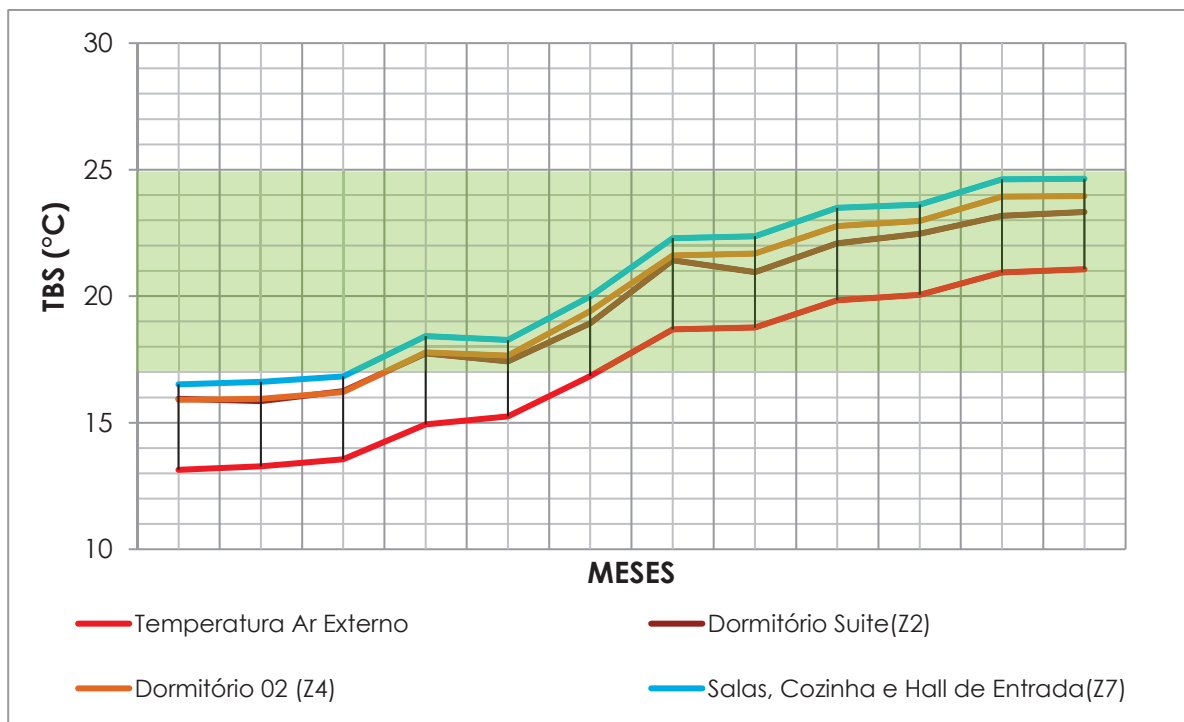
Na simulação da alvenaria tradicional com espessura total de 12 cm, se obteve conforto térmico para as temperaturas do ar externo maiores que 14,25 °C (Gráfico 1). Na simulação para alvenaria interna de 15 cm (Gráfico 2), o conforto foi atingido quando a temperatura do ar externo era de 14,50 °C. Em ambas o limite superior não foi encontrado, pois mesmo sob a maior temperatura média mensal (21 °C) não foi ultrapassada a faixa de conforto.

GRÁFICO 1 - TEMPERATURAS MÉDIAS MENSAIS DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA INTERNA DE ESPESSURA DE 12 CM E ROTAÇÃO DE 0°



Fonte: O autor

GRÁFICO 2 - TEMPERATURAS MÉDIAS MENSAIS DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA INTERNA DE ESPESSURA DE 15 CM E ROTAÇÃO DE 0°

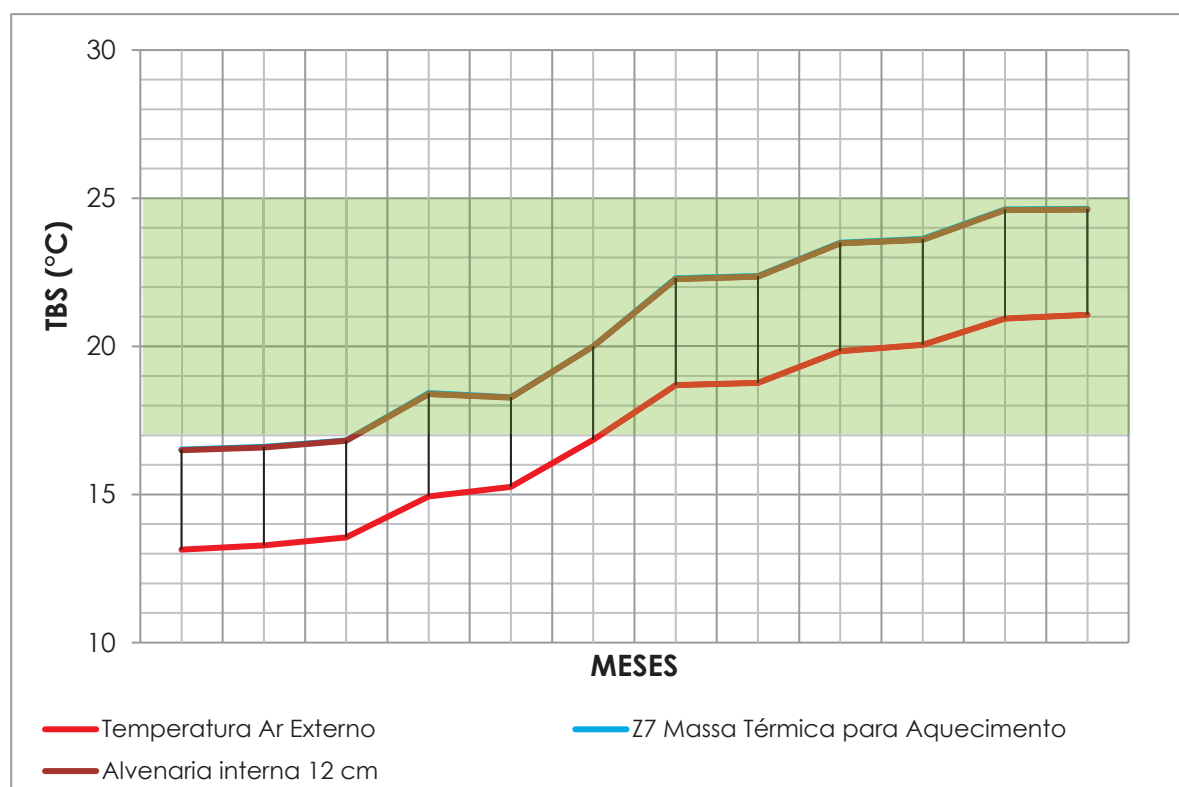


Fonte: O autor

O que se verificou, portanto, é que a adição de massa (3 centímetros) da alvenaria interna pouco influenciou no resultado, sendo que mesmo com a parede de 12 centímetros o conforto no espaço interno foi atingido nas áreas de permanência com TBS externo de 14,25°C de média mensal, quando simulado com orientação 0°, portanto aproximadamente dentro da faixa esperada pelo Diagrama. (Figura 19)

Ao comparar os resultados da temperatura interna da Zona 7 da simulação, o que se observa é que a adição da massa dentre parâmetros reais não causa uma diferença significativa de temperatura do ar interno (Gráfico 3).

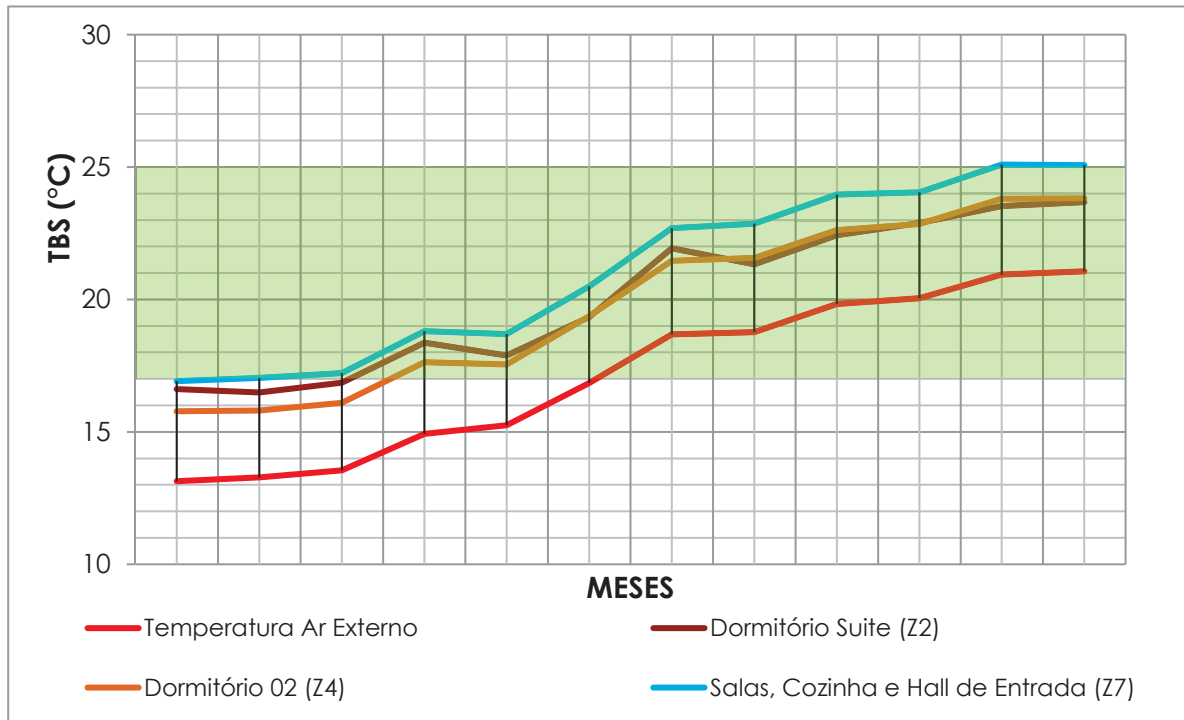
GRÁFICO 3 - COMPARAÇÃO DAS TEMPERATURAS MÉDIAS MENSAIS DA Z7 COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA INTERNA DE ESPESSURA DE 12 E 15 CM E ROTAÇÃO DE 0°



Fonte: O autor

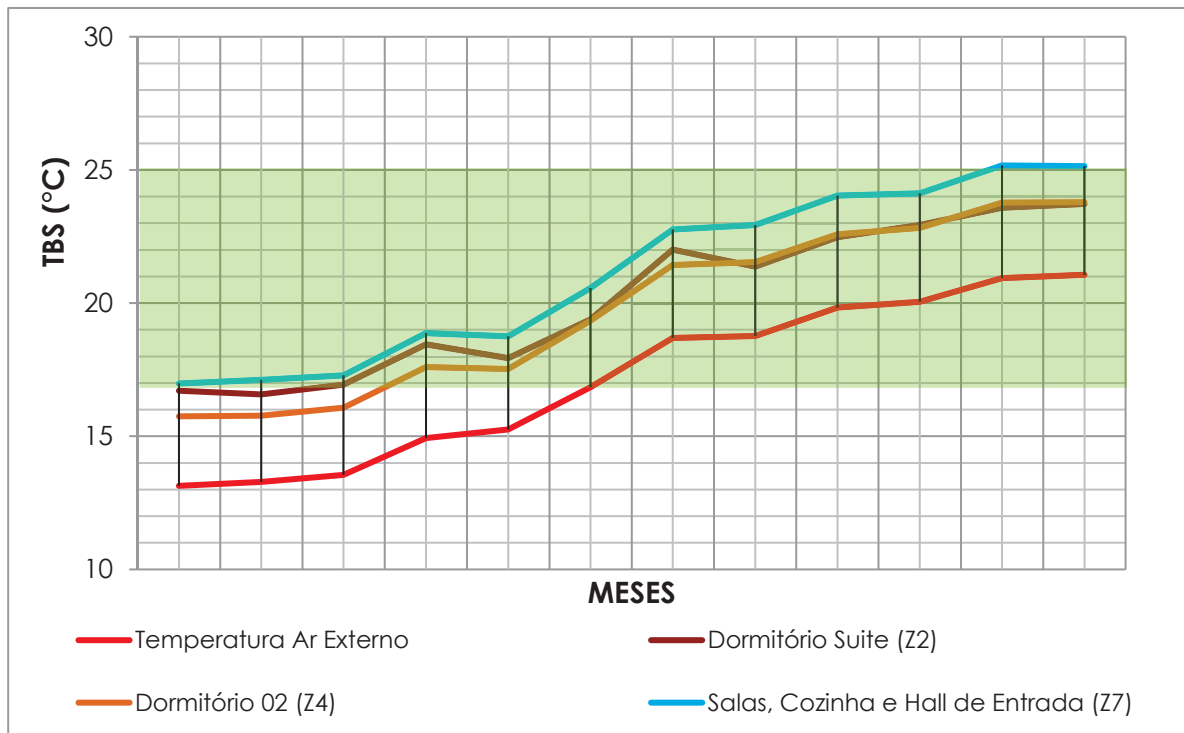
A segunda simulação realizada para esta Zona foi a com alteração de material e espessuras. Usando o mesmo conceito de adição de massa térmica para aquecimento, ou seja, aumento da massa das paredes internas para aumento da inércia térmica utilizou-se *dry-wall*, conhecido também como gesso acartonado. Foram simuladas as espessuras de 7 cm (Gráfico 4) e 10 cm (Gráfico 5).

GRÁFICO 4 - TEMPERATURAS MÉDIAS MENSAIS DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM *DRY-WALL* DE ESPESSURA DE 7 CM E ROTAÇÃO DE 0°



Fonte: O autor

GRÁFICO 5 - TEMPERATURAS MÉDIAS MENSAIS DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM *DRY-WALL* DE ESPESSURA DE 10 CM E ROTAÇÃO DE 0°

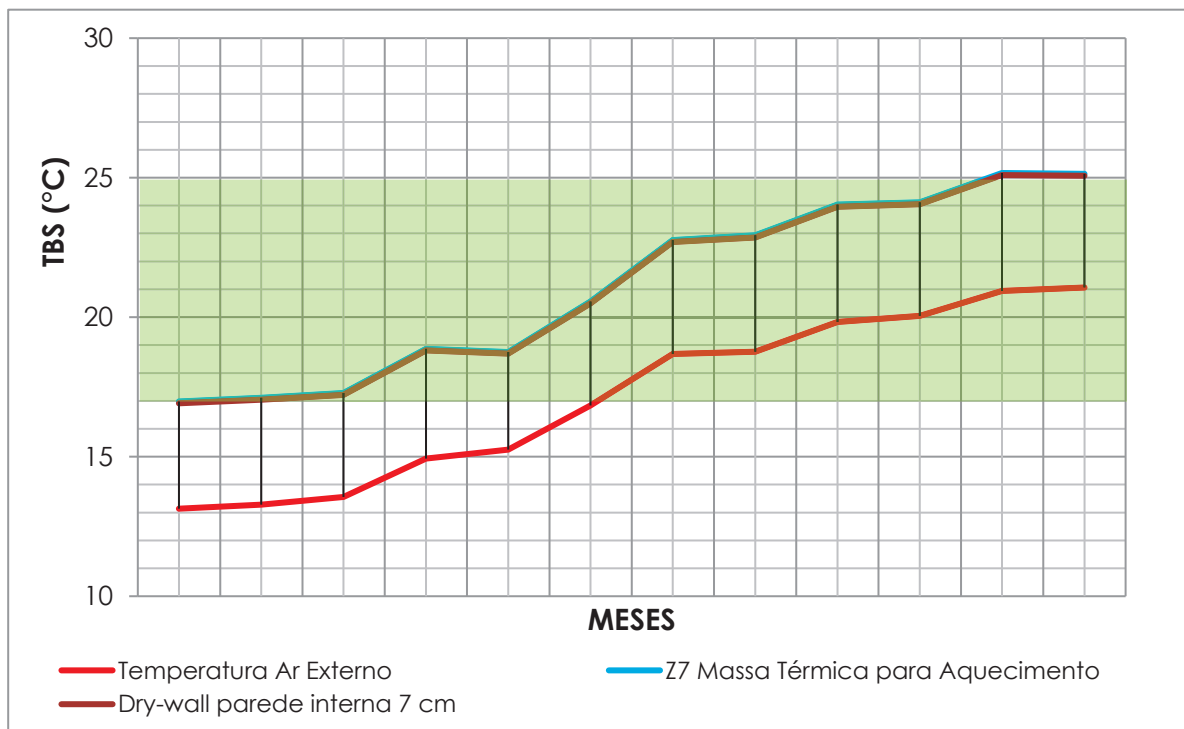


Fonte: O autor

Assim como com a alvenaria, o mesmo ocorreu utilizando o *dry-wall*. Na comparação entre o resultado do *dry-wall* de 7 centímetros (Gráfico 4) e de 10 centímetros (Gráfico 5), a diferença foi em média de $0,07^{\circ}\text{C}$ (Gráfico 6). Sendo que para ambos foi na temperatura do ar externo de $14,50^{\circ}\text{C}$ que se atingiu o conforto térmico do ambiente interno, o que ainda assim fica dentro do esperado. O limite superior, ou seja, a temperatura máxima do ar externo que se ultrapassa a faixa de conforto, acima dos 25°C no ambiente interno, encontrado foi de 21°C . acima dessa temperatura externa o conforto térmico do apartamento não foi atingido.

Diferentemente da simulação para alvenaria, a simulação com *dry-wall*, na Z7, atingiu uma ligeira faixa de temperatura acima da Zona de Conforto Térmico. O que indica que com a adoção de paredes de *dry-wall*, ou gesso acartonado, com espessuras maiores do que 10 cm essa faixa deve aumentar.

GRÁFICO 6 - COMPARAÇÃO DAS TEMPERATURAS MÉDIAS MENSAIS DA Z7 COM PAREDES INTERNAS EM *DRY-WALL* DE ESPESSURA DE 7 E 10 CM E ROTAÇÃO DE 0°

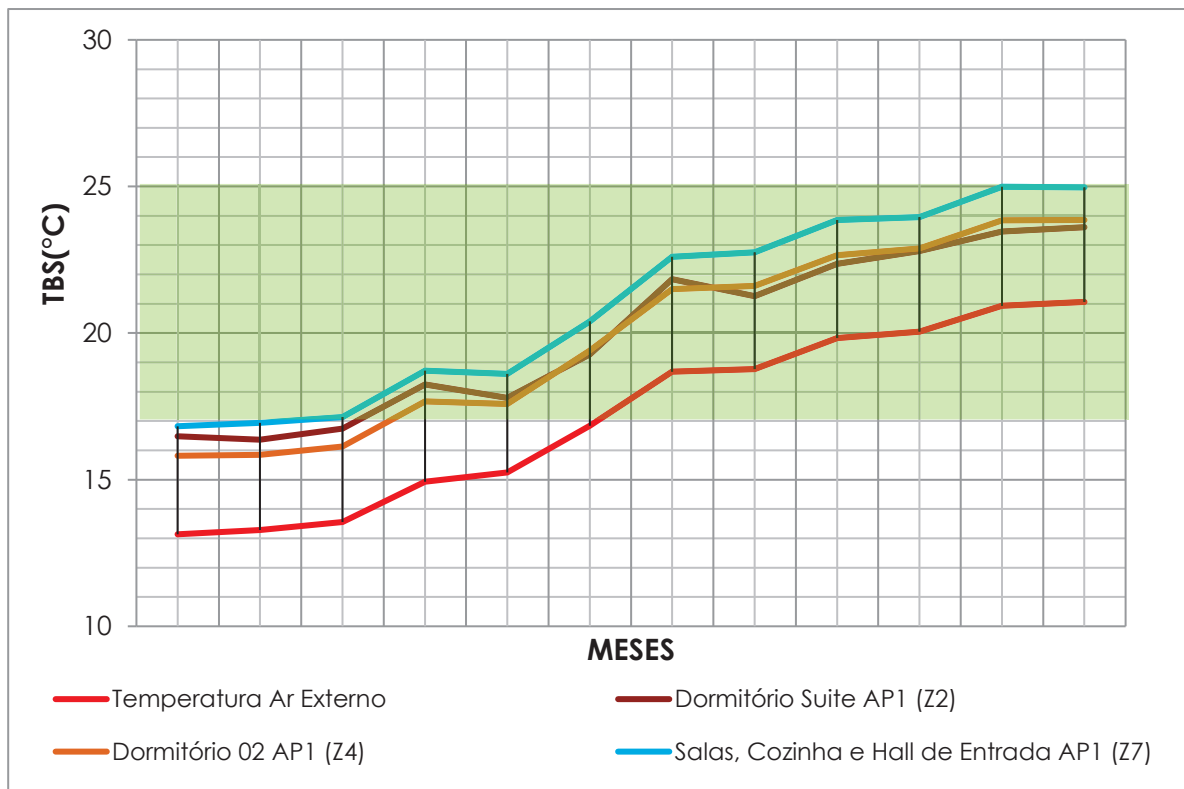


Fonte: O autor

Um terceiro grupo de simulação foi feito para esta Zona. Foram simuladas as paredes de *dry-wall* com a cavidade interna preenchida de lã de rocha. Foi mantida a massa e espessura total das paredes internas. A função da lã de rocha é acústica, porém se obteve algum resultado no âmbito do conforto térmico devido a este material, conforme se verifica no Gráfico 7, para

parede de 7 cm de espessura e Gráfico 8, para parede de 10 cm de espessura. A opção por simular com a adição da lã se deu por ser essa de uso corriqueiro na construção civil.

GRÁFICO 7 - TEMPERATURAS MÉDIAS MENSAIS DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM *DRY-WALL* DE ESPESSURA DE 7 CM COM LÃ DE ROCHA E ROTAÇÃO DE 0°

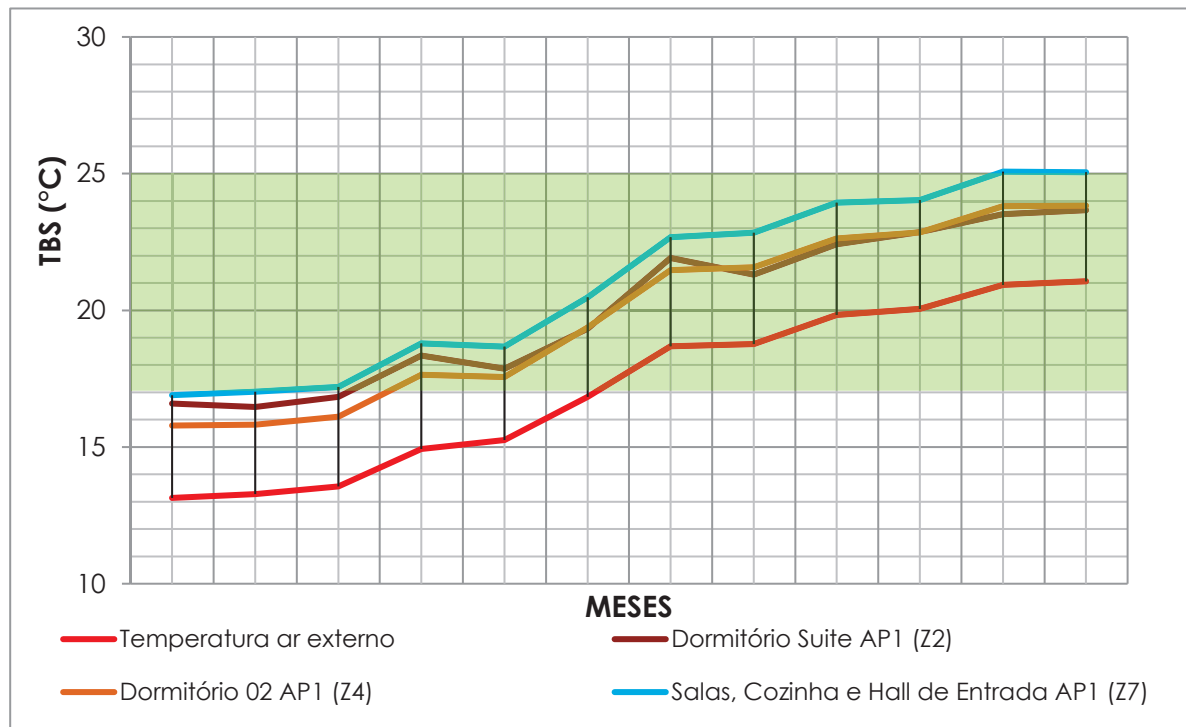


Fonte: O autor

Ao se comparar o resultado para a Z7 das paredes de *dry-wall* com 7 cm e 10 cm (Gráfico 9) ambas preenchidas com lã de rocha o que se encontra são valores semelhantes às demais simulações, o que indica que a adição dos 3 cm de lã de rocha das cavidades não tem influência relevante para a inércia térmica. Em média a diferença da temperatura com a adição dos 3 cm de parede é de 0,08 °C.

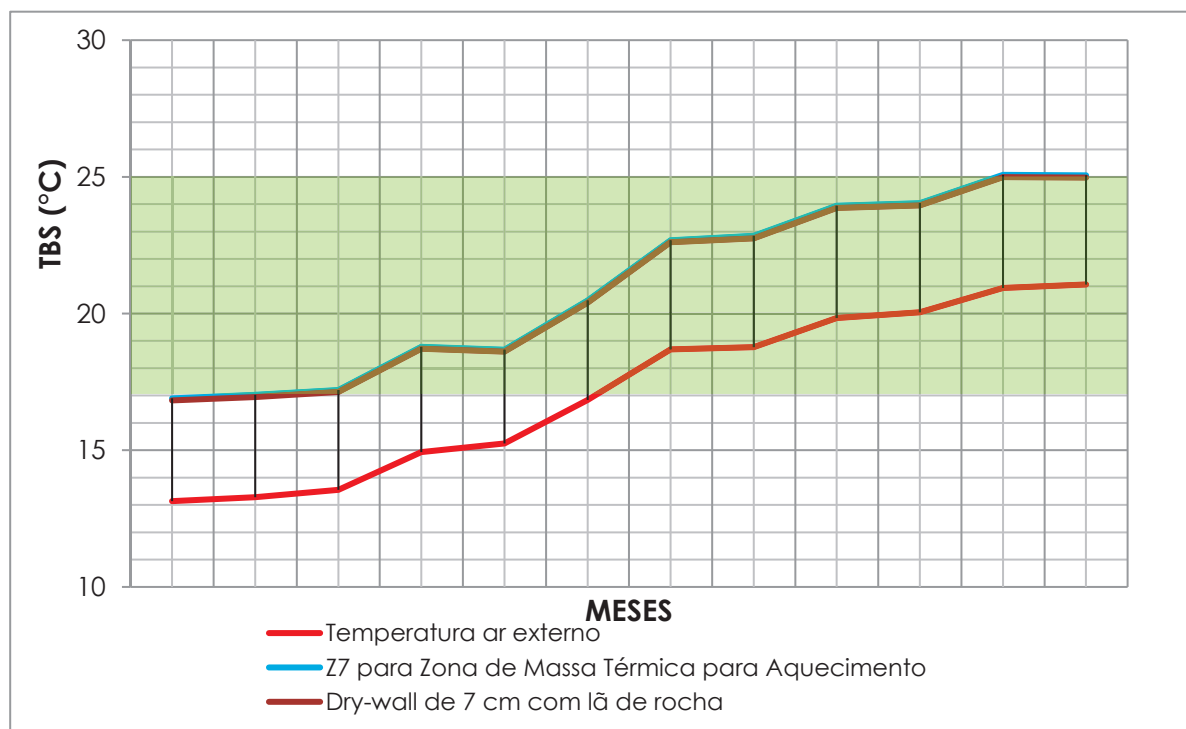
O mesmo pode ser inferido entre a diferença da adição da lã de rocha para cada espessura. A presença ou não da lã incorre em uma diferença média de apenas 0,09 °C para as duas espessuras.

GRÁFICO 8 - TEMPERATURAS MÉDIAS MENSAIS DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM *DRY-WALL* DE ESPESSURA DE 10 CM COM LÃ DE ROCHA E ROTAÇÃO DE 0°



Fonte: O autor

GRÁFICO 9 - COMPARAÇÃO DAS TEMPERATURAS MÉDIAS MENSAIS DA Z7 COM PAREDES INTERNAS EM *DRY-WALL* DE ESPESSURA DE 7 E 10 CM COM LÃ DE ROCHA E ROTAÇÃO DE 0°



Fonte: O autor

A faixa da Zona de Massa para Aquecimento Térmico descrita na Norma é parcialmente conferida. A tabela resumo dos resultados mostra que o limite máximo não se aplica para as espessuras de parede simuladas já que o estipulado no Diagrama é 17 °C (Tabela 7).

TABELA 7: LIMITES INFERIOR E SUPERIOR DA ZONA DE MASSA TÉRMICA PARA AQUECIMENTO

Construção	Espessura Total da Parede (cm)	Limite Inferior (°C)	Limite Superior (°C)
Alvenaria Tradicional	12	14,25	Não conclusivo
Alvenaria Tradicional	15	14,50	Não conclusivo
<i>Dry-wall</i>	7	14,50	21
<i>Dry-wall</i>	10	14,50	21
<i>Dry-wall</i> com lã de rocha	7	14,25	21
<i>Dry-wall</i> com lã de rocha	10	14,25	20,75

Fonte: O Autor

O que se conclui dessa análise é que a adição de massa térmica dentro de parâmetros reais não significou uma relevante diferença no desempenho térmico do edifício, conforme indica a NBR 15.220-3, pois todos os resultados foram similares. (Tabela 8). A tabela foi organizada com as médias mensais de temperatura interna de todos os ambientes de permanência em relação a cada material e espessura. A média de diferença entre todos os materiais é de apenas 0,12 °C.

A maior diferença que se observa nos resultados é entre o uso de alvenaria tradicional e *dry-wall*, sendo possível concluir que a utilização do *dry-wall* nas paredes internas dos edifícios é mais adequada para a Zona de Massa Térmica de Aquecimento do que a alvenaria tradicional mesmo esta com maior espessura.

A opção de incluir o *dry-wall* na simulação se deu pela frequência com a qual esse material é empregado neste tipo de construção. O que deve ser considerado, porém são as propriedades físicas do material e as que foram adotadas para esta pesquisa encontram-se descritas no item 3.3. Ressalta-se que a principal diferença entre as propriedades do *dry-wall* e da alvenaria tradicional diz respeito à condutividade dos materiais que constituem o método construtivo.

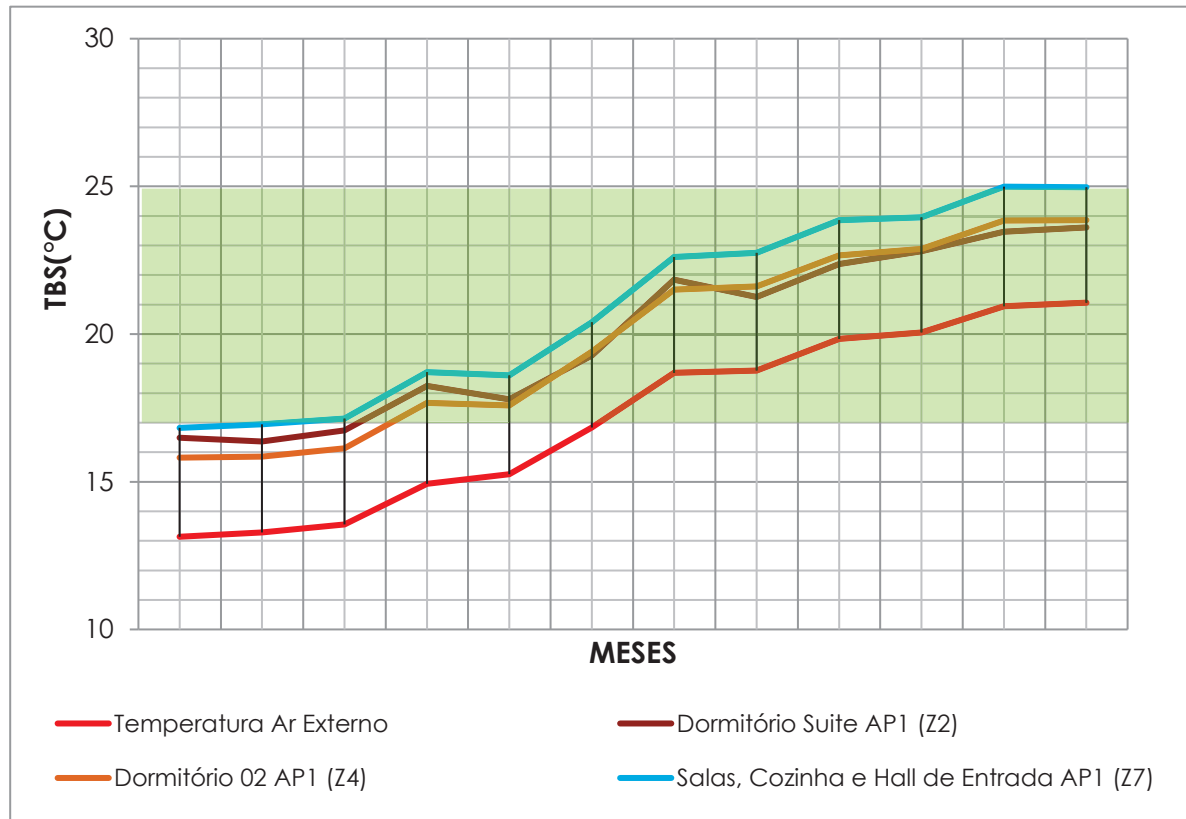
TABELA 8: RESUMO DA DIFERENÇA DE TEMPERATURA DE ACORDO COM AS ESPESSURAS DE PAREDE

Construção	Espessura Total da Parede (cm)	Temperatura Média Mensal (°C)											
		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembr	Dezembro
<i>Dry-wall</i>	7	24,14	24,19	23,26	22,03	18,27	16,44	16,72	16,44	18,04	19,74	21,92	23,00
<i>Dry-wall</i> com lã de rocha	7	24,10	24,15	23,21	21,98	18,21	16,37	16,67	16,38	18,00	19,69	21,87	22,96
<i>Dry-wall</i>	10	24,17	24,22	23,29	22,07	18,31	16,48	16,76	16,49	18,07	19,76	21,95	23,03
<i>Dry-wall</i> com lã de rocha	10	24,14	24,18	20,75	22,02	18,26	16,43	16,71	16,43	18,03	19,72	21,91	22,99
Alvenaria Tradicional	12	23,90	23,96	23,00	21,75	17,96	16,10	16,41	16,12	17,78	19,45	21,66	22,77
Alvenaria Tradicional	15	23,91	23,97	23,02	21,77	17,98	16,12	16,43	16,14	17,78	19,44	21,67	22,78
Média da diferença de temperatura interna		0,10	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,13	0,14	0,11	0,13	0,11	0,10

Fonte: O Autor

Os melhores resultados obtidos na simulação foram para a construção com parede leve externa, cobertura leve isolada e paredes internas de *dry-wall* com a cavidade preenchida com lã de rocha e espessura total da parede de 7 cm. O Gráfico 10, a seguir, mostra o desempenho térmico deste tipo de construção para o projeto escolhido durante todo o ano.

GRÁFICO 10- DESEMPENHO TÉRMICO ANUAL PARA PAREDES INTERNAS EM *DRY-WALL* DE ESPESSURA DE 7 CM COM LÃ DE ROCHA E ROTAÇÃO DE 0°



Fonte: O autor

O que se observa é que na maior parte do ano a temperatura do ar interno do edifício está dentro da Zona de Conforto Térmico. Apenas entre os meses de junho e agosto a temperatura fica abaixo do limite inferior de conforto (17 (°C) e ainda assim não chegam à média de 15 (°C).

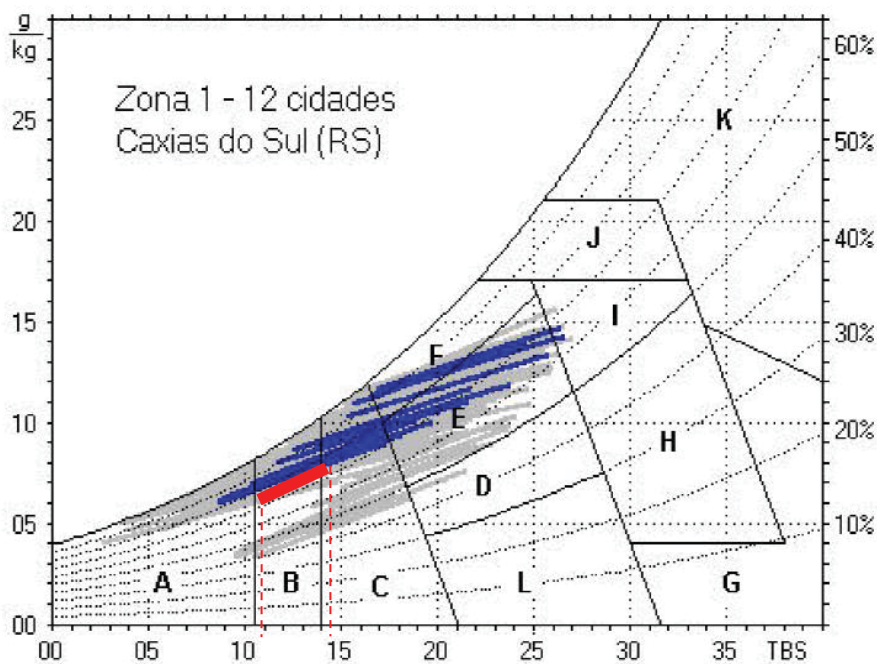
Por haver pequena diferença de temperatura interna entre todos os tipos de construção simulados e tomando como base o Gráfico 10, pode se inferir que a utilização de paredes de 12 e 15 cm de alvenaria ou de 7 e 10 cm de *dry-wall* com ou sem lã de rocha são adequadas à Zona Bioclimática 01, usando como base do estudo o município de Curitiba.

Deve-se considerar que o edifício, com paredes externas leves e cobertura leve isolada, já apresenta capacidade térmica suficiente para se caracterizar como dentro da zona de massa térmica para aquecimento, independentemente de usar paredes internas pesadas ou leves.

4.5 ZONA DE AQUECIMENTO SOLAR DA EDIFICAÇÃO

A estratégia de aquecimento solar da edificação é uma das recomendadas pela Norma de Zoneamento Bioclimático para a cidade de Curitiba, Zona 01. Ela deve ser aplicada para o intervalo de temperatura de bulbo seco do ar externo entre 10,5°C e 14°C para qualquer teor de umidade do ar, de acordo com o Diagrama Bioclimático descrito na Norma 15.220-3. No Diagrama ela é indicada pela letra "B". (Figura 22)

FIGURA 22: ZONA DE AQUECIMENTO SOLAR DA EDIFICAÇÃO



Fonte: Adaptado de ABNT, 2005

Essa zona tem como estratégia a adequação do projeto. Ela recomenda que a forma, a orientação e a implantação da edificação, além da correta orientação de superfícies envidraçadas, podem contribuir para aperfeiçoar o seu aquecimento no período frio através da incidência de radiação solar (ABNT, 2005).

Outra estratégia de condicionamento de ar passivo determinado pela Norma para a Zona de Aquecimento Solar é descrita como a utilização correta da cor externa dos componentes, que desempenham papel importante no aquecimento dos ambientes através do aproveitamento da radiação solar.

A forma do edifício escolhido é regular com três superfícies que trocam calor com o ar externo. Não foi alterada a forma para análise da sua influência por essa ser objeto passível de

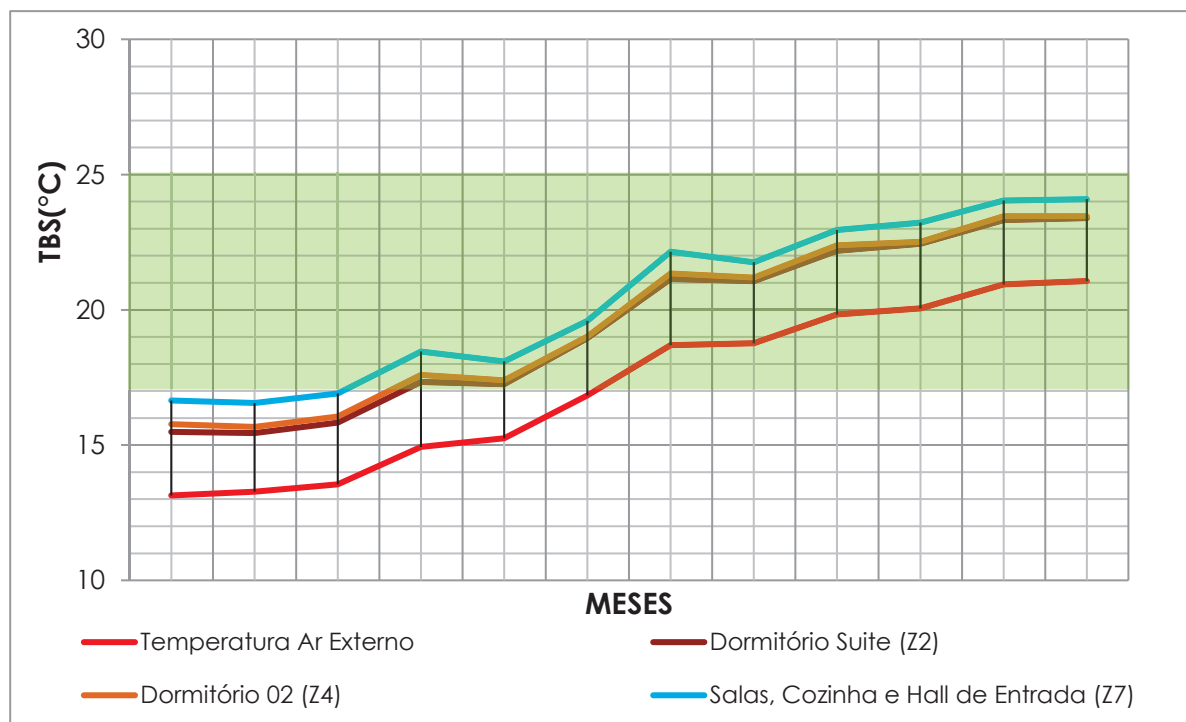
um estudo específico. A NBR 15.220-3 não especifica ou orienta qual tipo de formato adotado deve ser preferido para esta estratégia.

A implantação do edifício foi estudada. Para a simulação foram analisadas as temperaturas resultantes nas quatro orientações do prédio. São apresentadas nesta dissertação as seguintes orientações:

- Orientação 0° (Gráfico 1)
- Orientação 90° (Gráfico 11)
- Orientação 180 ° (Gráfico 12)

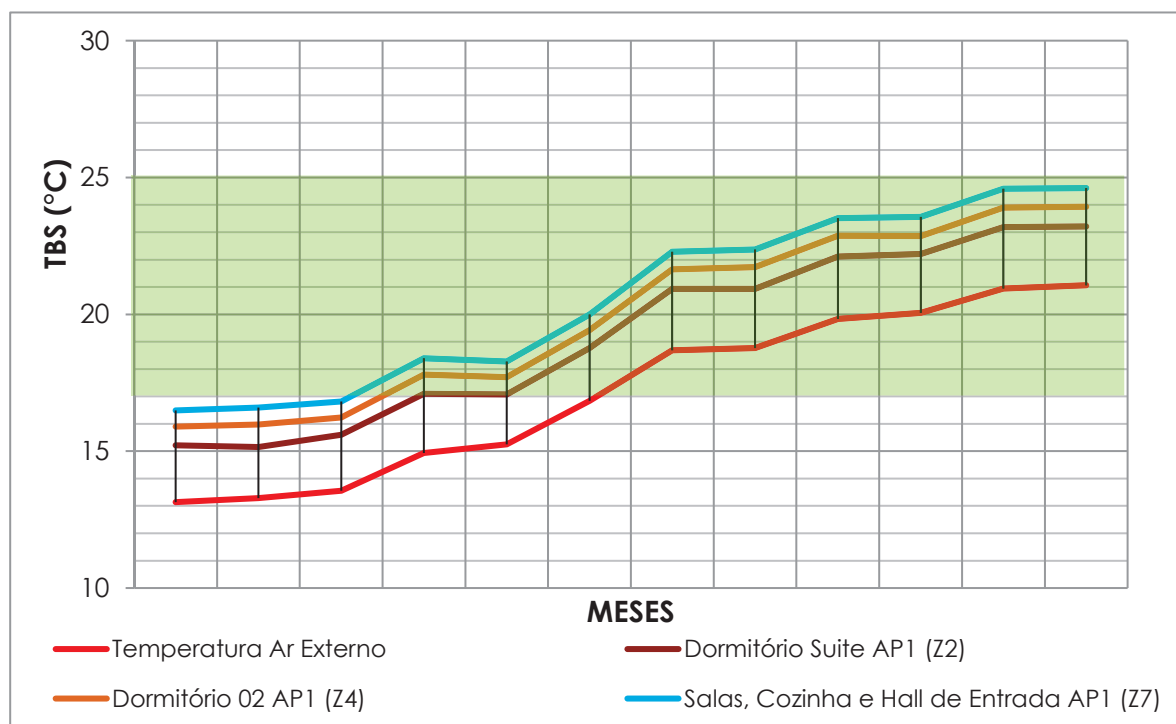
Os melhores resultados obtidos quanto ao desempenho térmico do edifício foram com a orientação tomada como base para essa dissertação, como anteriormente citada, a orientação "0°" (Gráfico 1). Nessa orientação os quartos ficaram voltados para a face norte e leste, banheiros face oeste, salas para as faces leste-oeste e cozinha e área de serviço para oeste.

GRÁFICO 11- TEMPERATURAS MÉDIAS MENSAIS DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA TRADICIONAL DE ESPESSURA DE 12 CM ROTAÇÃO DE 90°



Fonte: O autor

GRÁFICO 12 - TEMPERATURAS MÉDIAS MENSAIS DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA TRADICIONAL DE ESPESSURA DE 12 CM ROTAÇÃO DE 180°

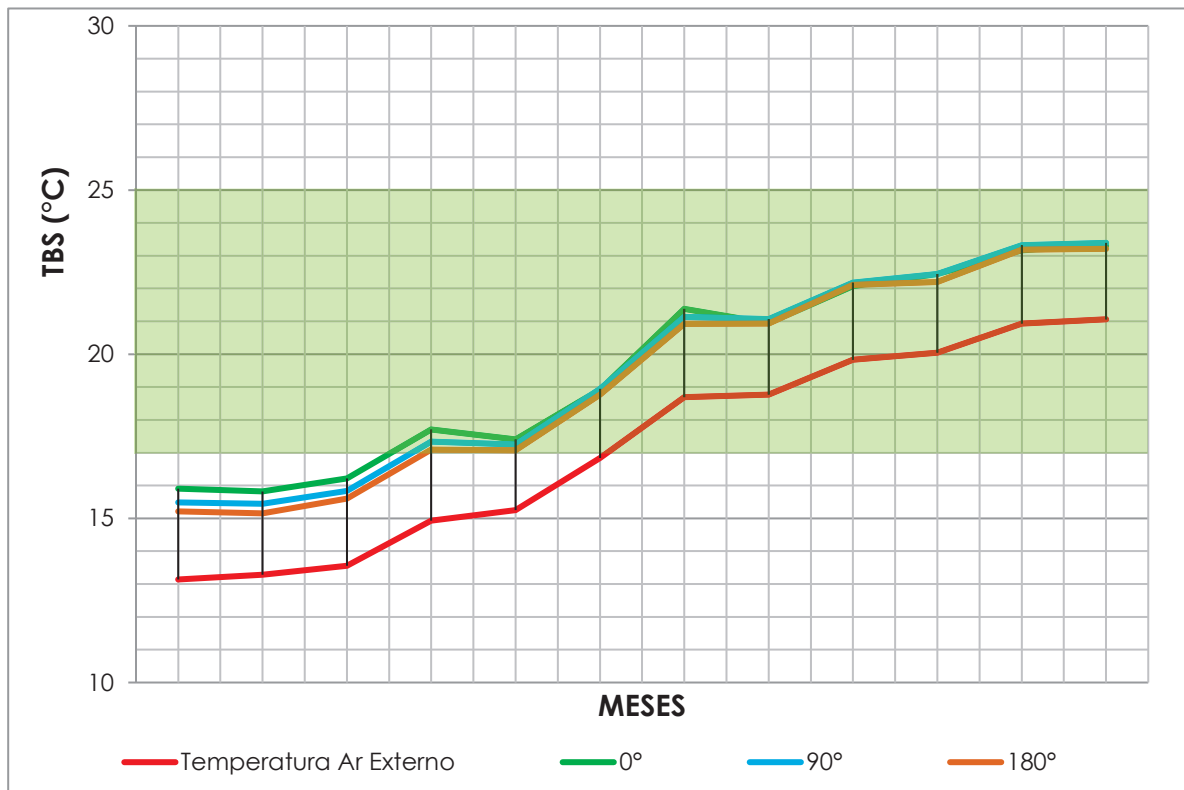


Fonte: O autor

O dormitório da suíte (Z2) possui apenas duas superfícies envidraçadas que ficam localizadas à face Norte quando a orientação do edifício é orientação 0°, Leste quando da orientação 90° e Sul quando da orientação 180°. As superfícies que trocam calor da Z2 são: Norte e Leste para a orientação 0°, Leste e Sul para a orientação 90° e Sul e Oeste para a orientação 180°. Para tanto, o que pode ser visualizado (Gráfico 13) é que quanto menor a temperatura do ar externo maior a diferença entre as temperaturas do ambiente interno para cada uma das orientações, o que indica que de fato a orientação solar tem influência no conforto térmico para temperaturas mais baixas. Ainda reafirmando a necessidade da correta orientação, a orientação Norte apresenta a maior diferença entre as temperaturas do ar externo e interno, em seguida Leste e depois Sul.

Para todas as orientações não se verificou a Norma. Apenas a partir da temperatura 14,25 °C de temperatura do ar externo, a temperatura do ar interno alcançou a faixa de conforto térmico como esperado. Portanto o limite inferior é coincidente com o da Massa Térmica obtido neste estudo.

GRÁFICO 13- COMPARAÇÃO DAS ORIENTAÇÕES PARA O DORMITÓRIO DA SUÍTE Z2 DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA TRADICIONAL DE ESPESSURA DE 12 CM



Fonte: O autor

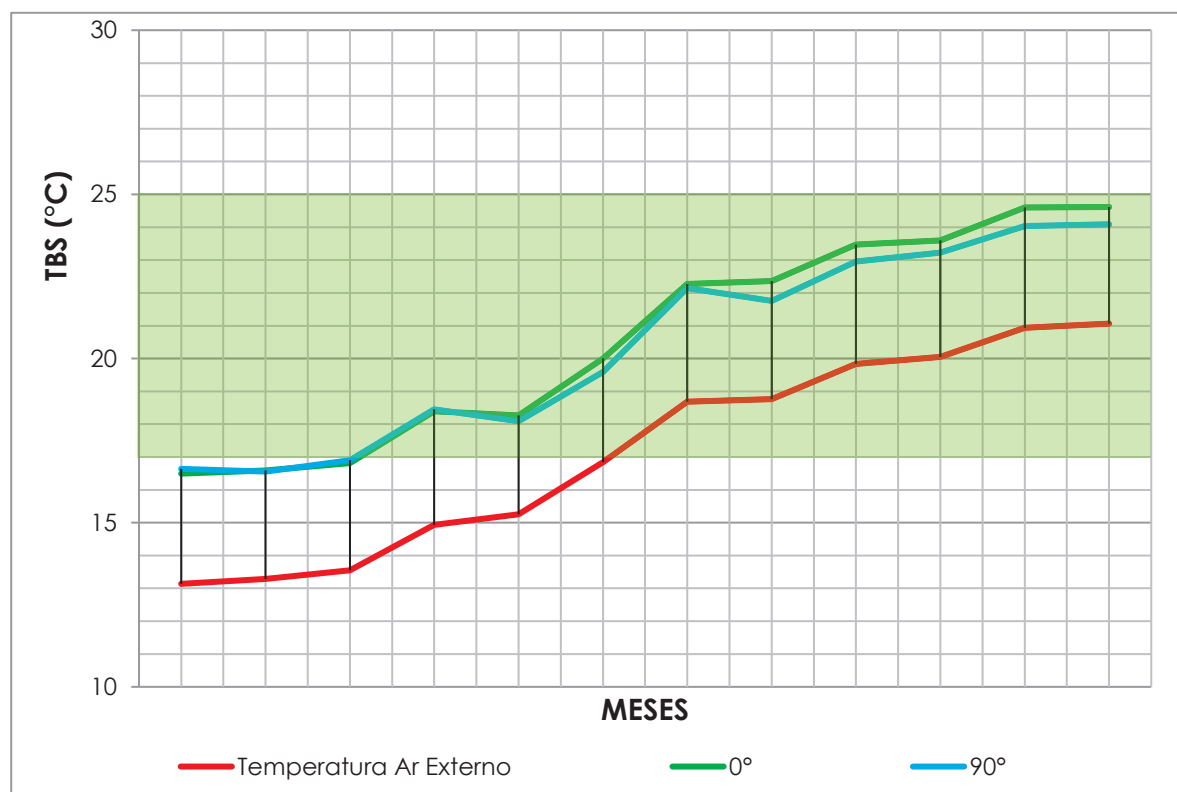
A Z7, que corresponde às salas de estar e jantar, cozinha e área de serviço e hall de entrada, todos esses ambientes conjugados, possui duas superfícies envidraçadas que são as mesmas que trocam calor com o meio externo. As duas faces são opostas. Portanto na orientação 0°, as superfícies com aberturas são: Leste e Oeste, na orientação 90°: Sul e Norte, as demais orientações repetem e por isso são desconsideradas na análise.

Os resultados da simulação não indicam que com a diminuição da temperatura do ar externo a influência da orientação solar aumenta. Isso possivelmente ocorre pela natureza das orientações das superfícies envidraçadas sempre opostas em paralelo. Neste ambiente a correta orientação solar resulta que com apenas 13,25 °C de temperatura de ar externo a Zona de Conforto Térmico seja alcançada. (Gráfico 14)

O dormitório 02 (Z4) é o menor dos ambientes analisados. Ele possui formato retangular e área de apenas 9,79 m². Ele representa a dimensão de um dormitório padrão que se observa ser comercializado na cidade para segundo ou terceiro dormitório. Esse ambiente possui apenas uma superfície envidraçada que é a mesma e também única que troca calor com o ar externo.

As outras três superfícies trocam calor com as Z2 e Z7 desta simulação. Além da superfície envidraçada, outra abertura considerada nesta simulação para a Z4 é a porta de madeira.

GRÁFICO 14- COMPARAÇÃO DAS ORIENTAÇÕES PARA AS SALAS, COZINHA, ÁREA DE SERVIÇO E HALL DE ENTRADA Z7 DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA TRADICIONAL DE ESPESSURA DE 12 CM

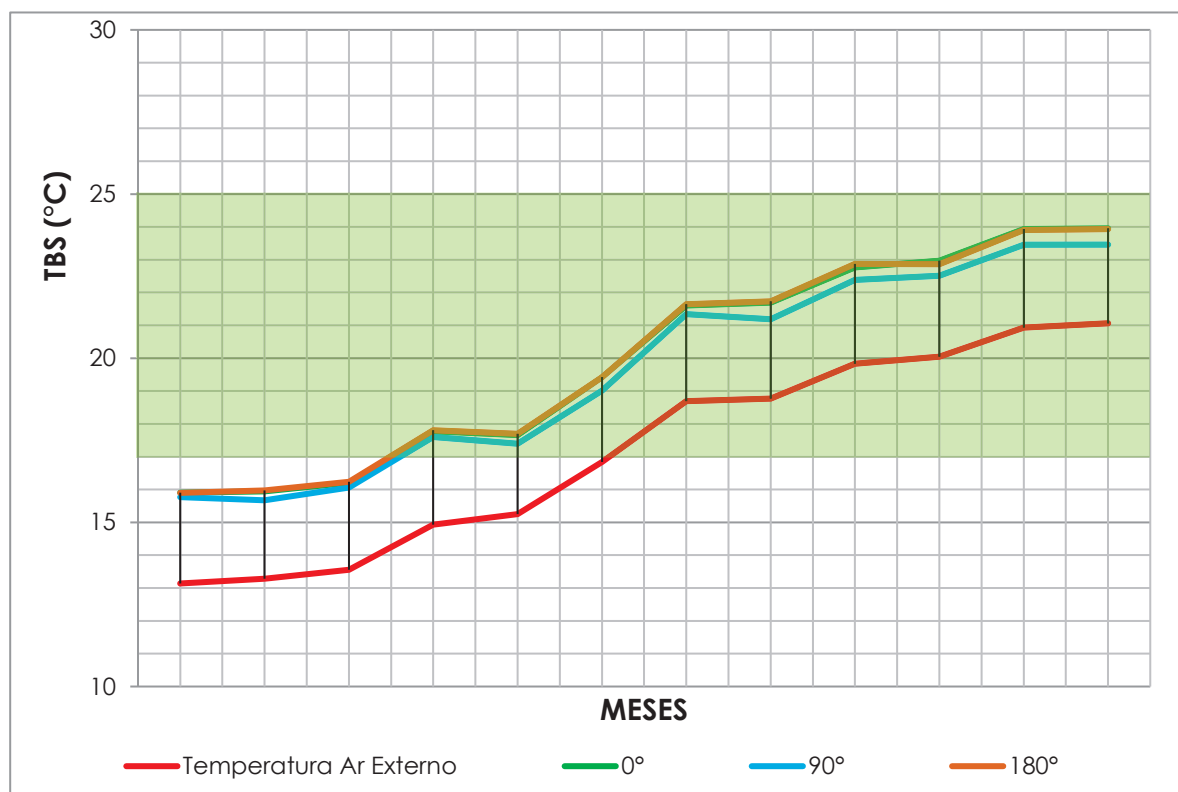


Fonte: O autor

A Z4, na orientação 0° a superfície envidraçada é Leste, na orientação 90° Sul e na orientação 180° Oeste. Os resultados, assim como para a Z7, não indicam que com a diminuição da temperatura do ar externo haja uma diferença maior entre o resultado das orientações. Quando as superfícies envidraçadas estão com orientação Leste e Oeste os resultados das médias mensais são praticamente coincidentes (Gráfico 15). Para este ambiente apenas para temperaturas do ar externo maiores que 14,25 °C se alcançou a Zona de Conforto Térmico.

O que se observa é que, isoladamente, a correta orientação solar da edificação não tem suficiente efeito. Em qualquer uma das orientações as melhores condições de conforto alcançadas foram com temperaturas de ar externo acima dos 13,5 °C. Esse valor é próximo ao limite máximo da estratégia determinado em Norma, que é de 14 °C. (ABNT, 2005)

GRÁFICO 15- COMPARAÇÃO DAS ORIENTAÇÕES PARA O DORMITÓRIO 02 Z4 DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA TRADICIONAL DE ESPESSURA DE 12 CM



Fonte: O autor

A zona que inclui as salas, cozinha, área de serviço e hall de entrada, Z7, foi a com a melhor condição de conforto, sendo que com apenas 13,25°C no exterior, o ar no seu interior permanece dentro dos parâmetros de conforto.

As temperaturas médias mensais da cidade de Curitiba, objeto de estudo, são superiores a 13°C, portanto não pode ser verificado o limite inferior de 10,5°C para a aplicabilidade do Diagrama.

4.5.1 Aproveitamento da radiação solar - superfícies envidraçadas

A quarta estratégia recomendada para a Zona de Aquecimento Solar da Edificação é o maior aproveitamento da radiação solar pelas superfícies envidraçadas. Para essa análise foram realizadas simulações com alterações das aberturas envidraçadas e das superfícies que trocam calor com o ar externo (paredes externas) para que fosse possível a avaliação da influência do tamanho da abertura e do resultado da sua orientação. Foram simuladas aberturas de tamanhos diferentes em cada uma das orientações para vidros simples e vidros duplos.

O ambiente selecionado para essa análise se restringiu à Z4, que corresponde ao Dormitório 02. Essa escolha se deu pela necessidade de avaliar o desempenho térmico exclusivo de cada orientação solar e por ser esse o único ambiente do projeto simulado que possui apenas uma superfície de troca de calor com o ar externo e apenas uma superfície envidraçada, garantindo dessa forma maior representatividade do resultado.

Nessa análise não foi alterada a ventilação dos ambientes, sendo que para todas as simulações desta pesquisa o valor de entrada foi de 0,25 trocas de ar/ hora. Portanto este item se refere unicamente ao efeito da radiação solar na temperatura.

No que diz respeito às aberturas, a Norma sugere que sejam médias. A NBR 15.220-3 denomina de aberturas médias aquelas que possuem área entre 0,15 a 0,25 da área do piso do ambiente correspondente. No entanto, deve se ressaltar que a Norma recomenda maior aproveitamento da radiação solar, não especificando quais as variações devem ser aplicadas para isso.

Para a análise considerou-se que esse melhor aproveitamento pode se dar a partir da variação na dimensão da aberturas, na maior radiação incidente de acordo com a orientação solar da superfície envidraçada e finalmente por uma maior resistência térmica da superfície envidraçada, por isso a simulação com vidros duplos.

O parâmetro avaliado inicialmente foi a área. Na simulação foi avaliada a única abertura envidraçada do dormitório 02 do apartamento. As aberturas testadas foram as seguintes: 1/20, 1/15, 1/12, 1/11, 1/10, 1/9, 1/8, 1/7, 1/6, 1/5 e 1/4 (Tabela 9) da área do piso. A opção por denominar as áreas em fração e não por números decimais se deu por ser essa a forma mais corriqueira de determinação das aberturas pelos projetistas.

TABELA 9: ÁREA DAS ABERTURAS SIMULADAS

Área do Piso (m ²)	Área das Aberturas (m ²)										
	1/20	1/15	1/12	1/11	1/10	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4
9,79	0,49	0,65	0,82	0,89	0,98	1,09	1,22	1,40	1,63	1,96	2,45

Fonte: O Autor

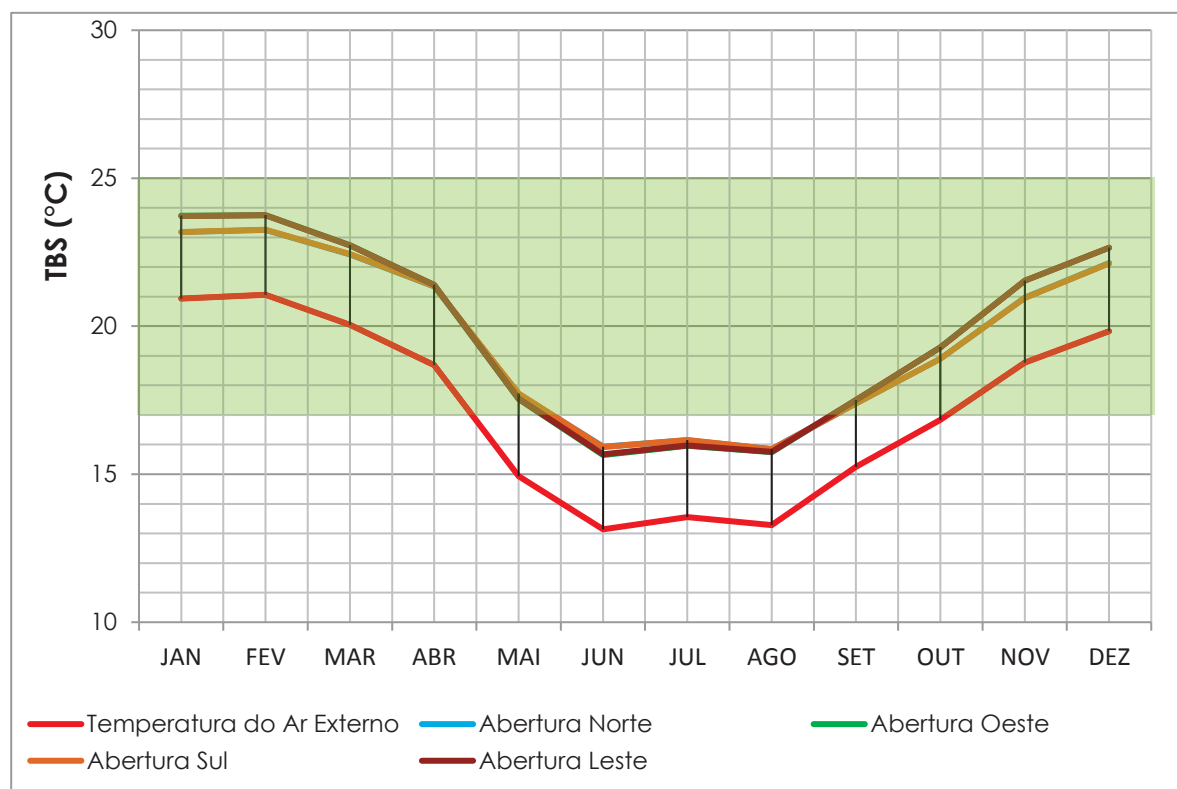
A NBR 15.220-3 recomenda o uso das aberturas de 1/4, 1/5 e 1/6, as demais são consideradas pela Norma como inadequadas à Zona Bioclimática 01.

Em todas as simulações as paredes internas consideradas foram a de alvenaria tradicional com espessura total de 12 cm, parede externa leve e cobertura leve isolada como as demais simulações. A laje e teto, assim como a parede de divisa com a área comum do edifício foram consideradas superfícies adiabáticas. Todos esses parâmetros foram mantidos das simulações anteriores.

Para cada uma das áreas de abertura o edifício foi rotacionado, permitindo avaliar a performance térmica sob as quatro orientações. As simulações foram repetidas com a utilização de vidros duplos de 6 mm preenchidos de ar entre eles. Ao todo foram realizadas oitenta e oito simulações relativas ao estudo das aberturas.

A maior janela, com 2,45 m², relativa à 1/4 da área do piso foi a abertura com pior desempenho térmico para vidros simples (Gráfico 16).

GRÁFICO 16- RESULTADO DA SIMULAÇÃO DA ABERTURA 1/4 COM VIDROS SIMPLES DO DORMITÓRIO 02 Z4 DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA TRADICIONAL DE ESPESURA DE 12 CM

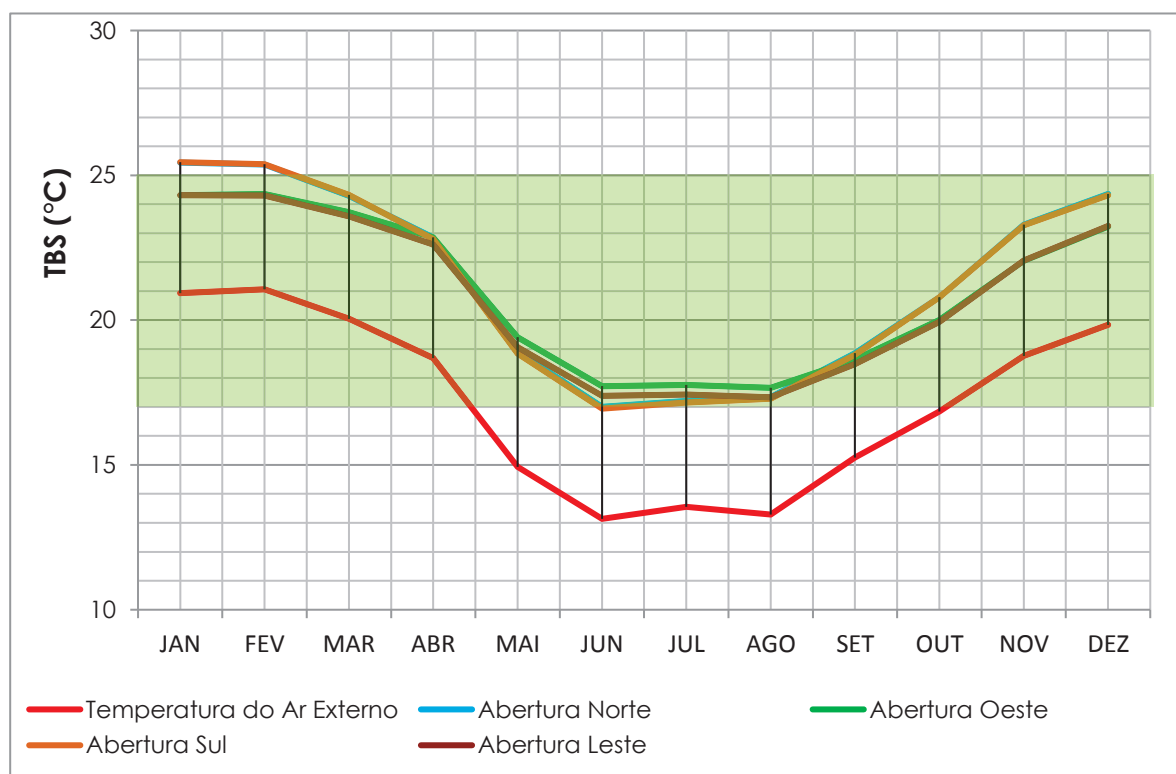


Fonte: O autor

No gráfico pode se observar que com essa dimensão, independentemente da orientação da abertura, a temperatura do ar interno do dormitório não está dentro da Zona de Conforto térmico durante um período significativo do ano. Desde a metade do mês de maio até a metade do mês de setembro a temperatura interna resultante da simulação encontra-se abaixo dos 17 °C. É importante ressaltar que essa área de abertura está dentro dos limites estipulados em Norma, sendo essa a maior proporção recomendada.

No entanto, quando simulada essa mesma abertura com vidros duplos, o ganho de desempenho é significativo. Nas orientações leste e oeste o ambiente permanece em conforto durante todo o ano. Apenas na orientação norte e sul o limite superior é ligeiramente superado e isso é esperado. Na orientação sul também existe uma pequena faixa que fica abaixo do limite de conforto, ou seja, abaixo de 17 °C (Gráfico 17).

GRÁFICO 17- RESULTADO DA SIMULAÇÃO DA ABERTURA 1/4 COM VIDROS DUPLOS DO DORMITÓRIO 02 Z4 DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA TRADICIONAL DE ESPESSURA DE 12 CM

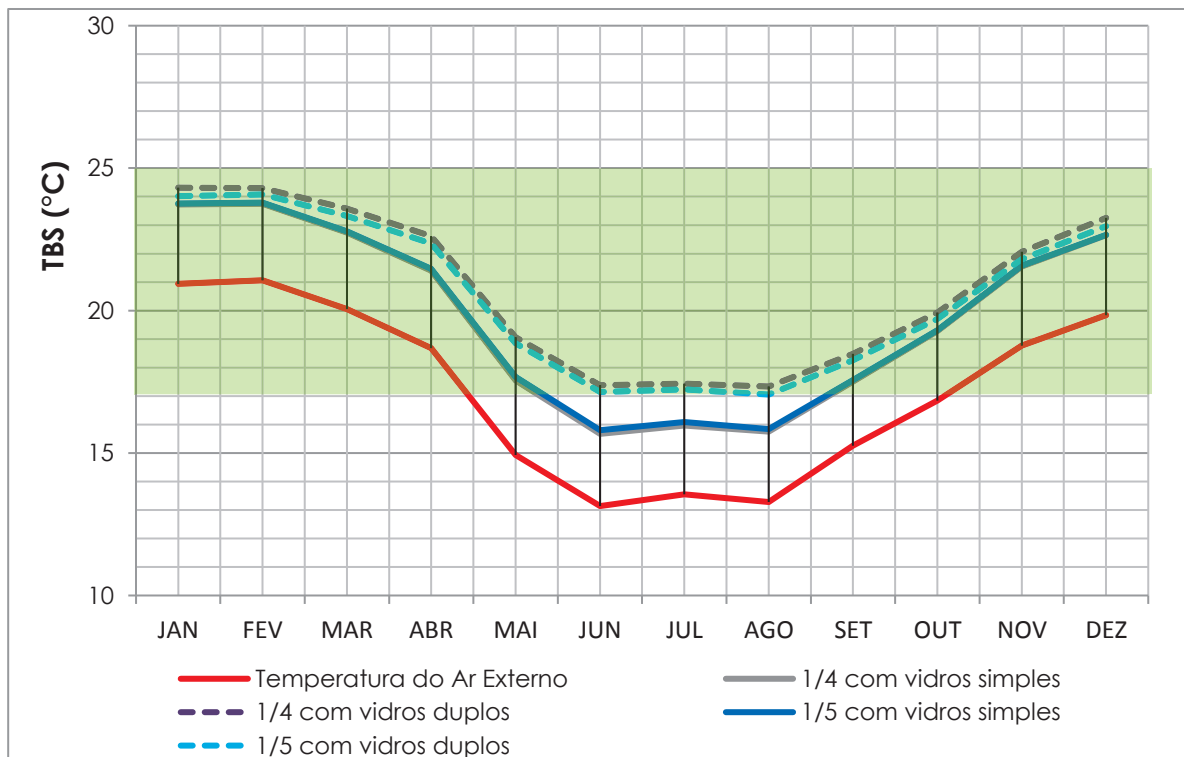


Fonte: O autor

Observando o Gráfico 18 se visualiza a diferença entre a abertura de 1/4 e 1/5 com e sem vidros duplos e percebe-se que quando utilizado, o vidro duplo, garante a essas dimensões

de abertura o conforto térmico durante todo o ano. Não se verifica o limite inferior determinado pela Norma, pois na cidade de Curitiba não há média mensal de temperatura do ar de 10,5 °C, mas pode se concluir que a estratégia atende a demanda da cidade.

GRÁFICO 18 - COMPARAÇÃO DAS ABERTURAS DE 1/4 E 1/5 PARA A FACE LESTE COM E SEM VIDROS DUPLOS DO DORMITÓRIO 02 Z4 DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA TRADICIONAL DE ESPESSURA DE 12 CM

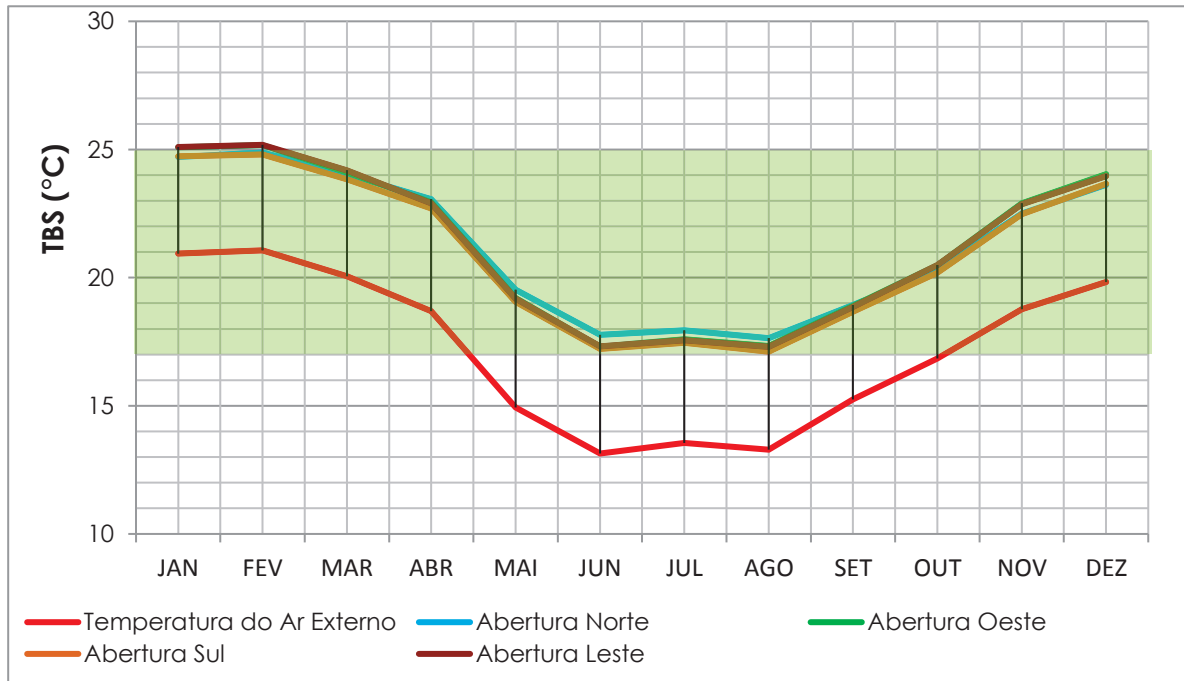


Fonte: O autor

A partir da análise dos gráficos acima pode se concluir que a adoção de vidros duplos é um parâmetro essencial para a estratégia do aquecimento solar da edificação. E que sem ele, os limites esperados pelo diagrama não são atingidos. Pois, quando utilizada a área de abertura recomendada, a estratégia é confirmada apenas quando da adoção deles.

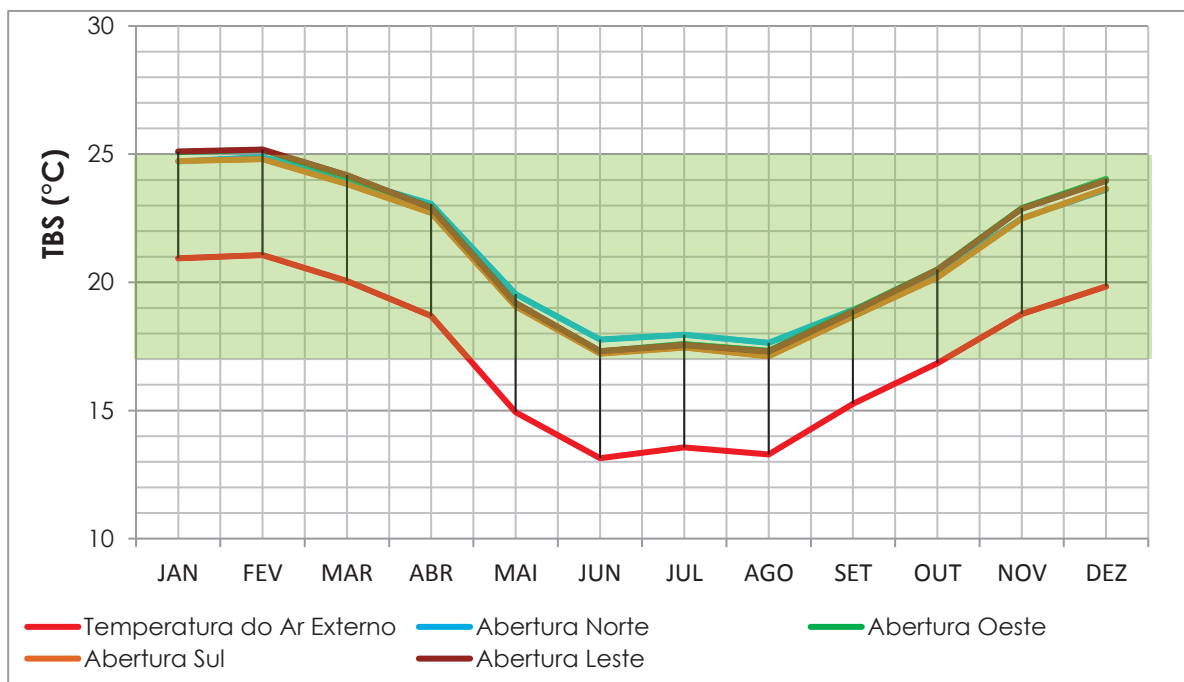
A menor dimensão de abertura simulada foi na proporção de 1/20 da área de piso, isso resultou em uma abertura de apenas 0,49 m². Na simulação a janela tem apenas 90 cm de altura e 55 cm de largura. Ainda assim, essa abertura obteve um melhor resultado do que a proporção de 1/4 com vidros simples para qualquer uma das orientações (Gráfico 19).

GRÁFICO 19 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO DA ABERTURA 1/20 COM VIDROS SIMPLES DO DORMITÓRIO 02 Z4 DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA TRADICIONAL DE ESPESSURA DE 12 CM



Fonte: O autor

GRÁFICO 20 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO DA ABERTURA 1/20 COM VIDROS DUPLOS DO DORMITÓRIO 02 Z4 DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA TRADICIONAL DE ESPESSURA DE 12 CM



Fonte: O autor

Durante grande parte do ano as médias mensais da temperatura do ar interno dos ambientes ficaram dentro da Zona de Conforto Térmico para a área de abertura de 1/20 do piso, sendo que apenas no mês de fevereiro, o mais quente do ano, houve uma condição de desconforto com apenas 0,10 °C acima da temperatura de conforto. Isso se repete na simulação com vidros duplos (Gráfico 20). Apenas nos meses mais quentes do ano (janeiro e fevereiro) e nas orientações norte e sul é ultrapassado o limite superior de conforto térmico. Nas orientações leste e oeste, essa abertura garante o conforto interno do ambiente durante o ano todo.

Por ter menor superfície e com isso menor troca de calor, o uso de vidros duplos nas aberturas de 1/20 da área do piso teve uma influência insignificante para os resultados. Em ambos os casos o desempenho térmico é satisfatório para a cidade de Curitiba.

A análise desta abertura de 1/20 da área do piso se deu para verificação dos limites de tamanho das aberturas, pois deve se comentar que essa não é uma janela a ser projetada para um dormitório, devido a fatores sociais.

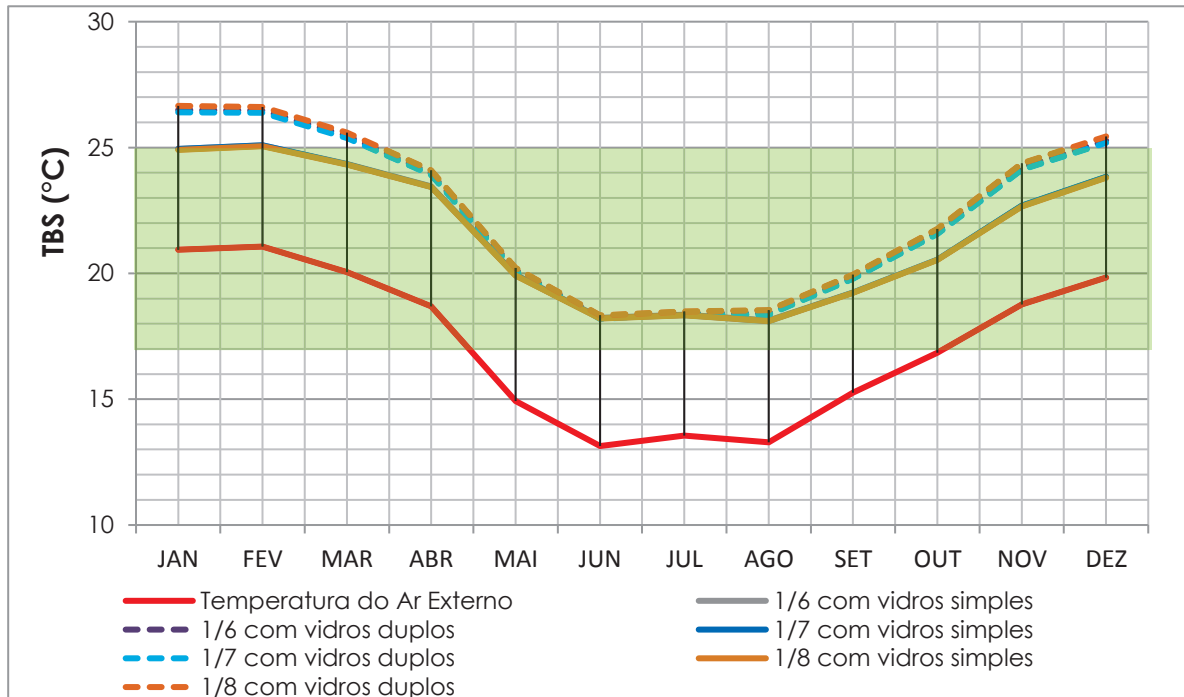
Na abertura de 1/6 da área do piso se nota que o uso de vidros duplos nas janelas resultou em uma perda significativa de desempenho térmico. Essa, juntamente com a dimensão de 1/7 e 1/8 foram proporções prejudicadas pela adição de uma segunda camada de vidro e ar (Gráfico 21). A janela com dimensão de 1/6 da área do piso ainda está dentro dos parâmetros recomendados pela Norma, pois é caracterizada por essa como abertura média.

A perda de desempenho para essas aberturas foi em decorrência do aumento excessivo de calor no ambiente interno quando da adição de uma segunda camada de vidro. Enquanto com vidro simples eram aberturas que atendiam ao conforto durante todo o ano, o uso de vidros duplos, durante os meses de verão fez a temperatura do ar interna do dormitório ficar acima da média mensal de 25 °C.

Na simulação com vidros duplos, foi a abertura de 1/8, ou 1,22 m², que obteve o pior desempenho para qualquer uma das orientações. O que se observa pelo gráfico é que apesar do limite inferior ter aumentado e com isso o ambiente não possuir temperatura média inferior a 17 °C, durante os meses mais quentes se experimenta uma temperatura interna acima de 25 °C, em média com mais de 1 °C de diferença (Gráfico 22). Uma observação que cabe aqui é que essa é a abertura exigida pelos parâmetros municipais.

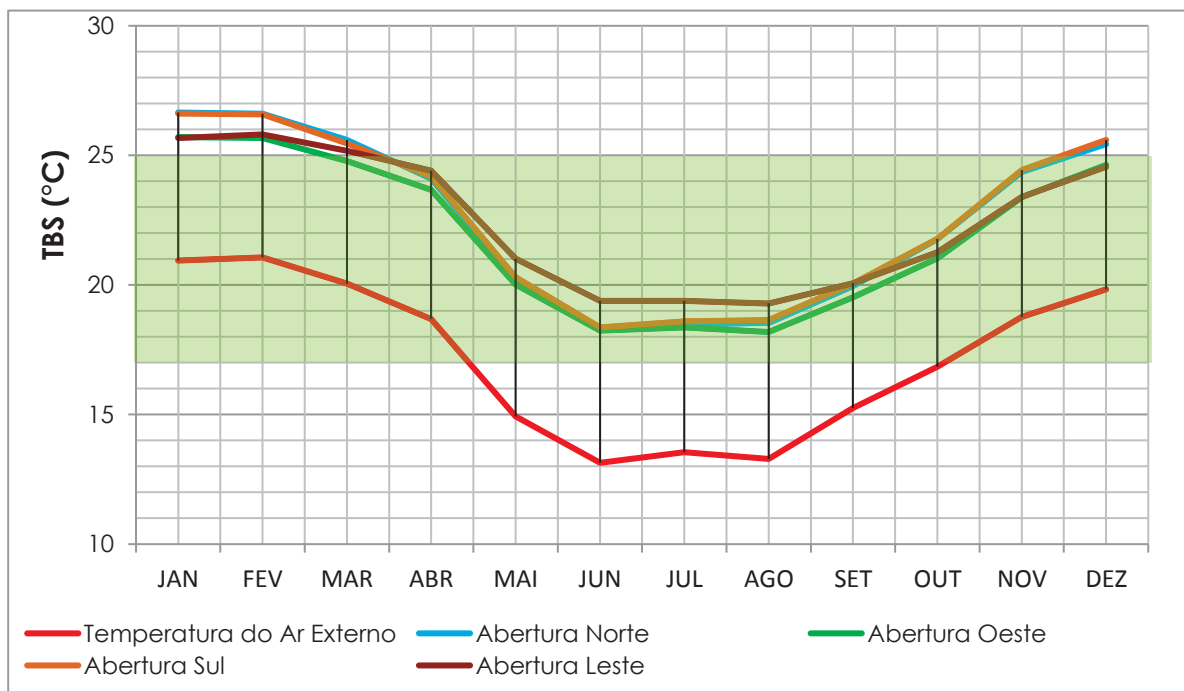
Portanto, pode se concluir que a estratégia não é verificada para a abertura de 1/6, que é recomendada pela NBR 15.220-3. Mesmo com a correta orientação, implantação, orientação da abertura e aumento da resistência térmica da superfície envidraçada o limite superior não confere.

GRÁFICO 21 - COMPARAÇÃO DAS ABERTURAS DE 1/6, 1/7 E 1/8 PARA A FACE NORTE COM E SEM VIDROS DUPLOS DO DORMITÓRIO 02 Z4 DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA TRADICIONAL DE ESPESSURA DE 12 CM



Fonte: O autor

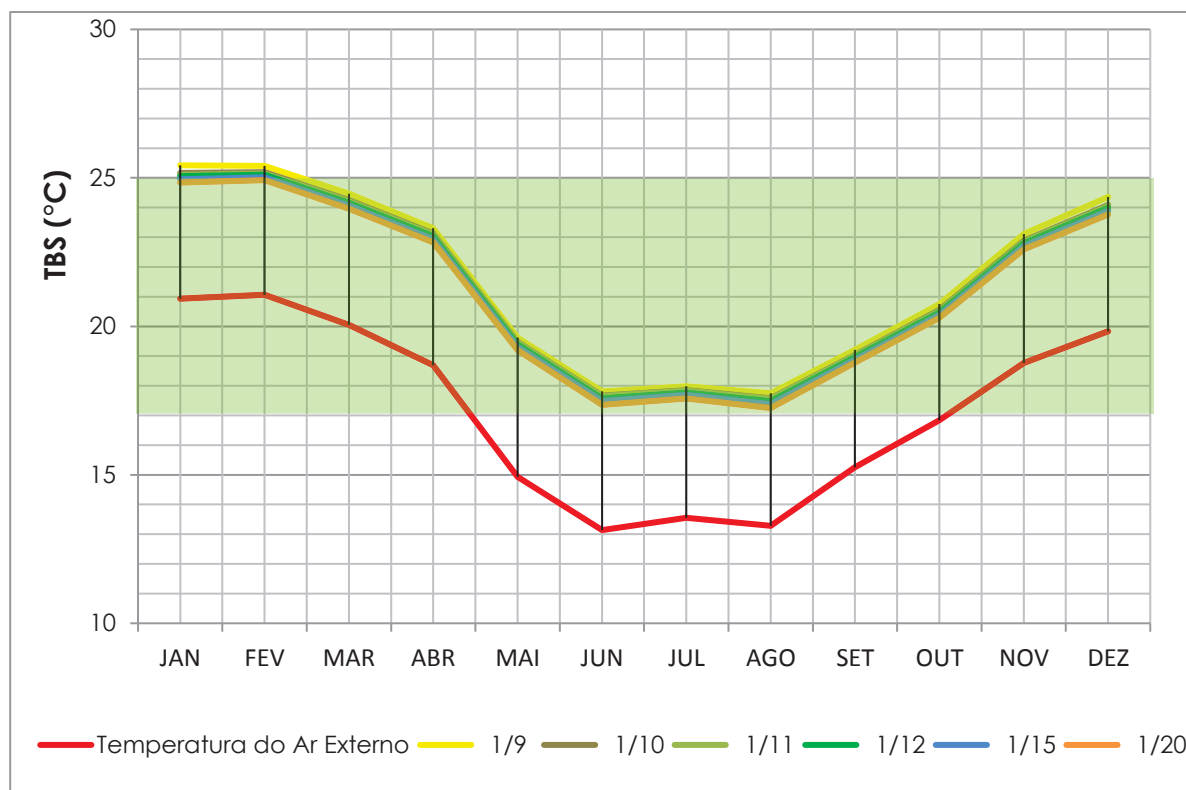
GRÁFICO 22- RESULTADO DA SIMULAÇÃO DA ABERTURA 1/8 COM VIDROS DUPLOS DO DORMITÓRIO 02 Z4 DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA TRADICIONAL DE ESPESSURA DE 12 CM



Fonte: O autor

As aberturas com áreas entre $1,09 \text{ m}^2$ e $0,65 \text{ m}^2$ (1/9, 1/10, 1/11, 1/12 e 1/15) obtiveram resultados satisfatórios tanto para vidros simples, como para vidros duplos (Gráfico 23 e Gráfico 24).

GRÁFICO 23- RESULTADO DA SIMULAÇÃO DAS ABERTURAS 1/9, 1/10, 1/11, 1/12 E 1/15 PARA A FACE OESTE COM VIDROS SIMPLES DO DORMITÓRIO 02 Z4 DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA TRADICIONAL DE ESPESSURA DE 12 CM



Fonte: O autor

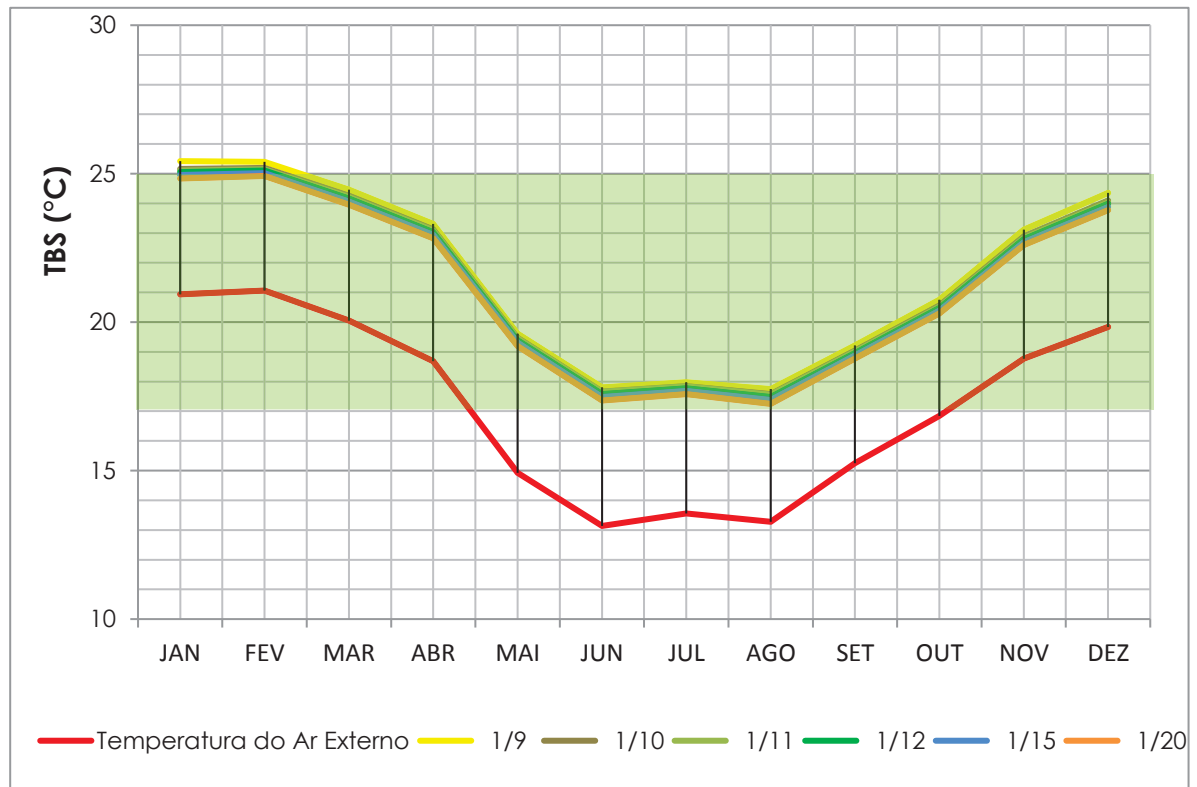
A Norma é verificada para essas aberturas, apenas o limite superior é alterado. Como estratégia a ser adotada para a cidade de Curitiba é suficiente, pois apenas para janeiro e fevereiro, ou melhor, para temperaturas acima de $21 \text{ }^{\circ}\text{C}$ o ambiente não fica em conforto térmico.

Para o uso dessas dimensões de aberturas (1/9, 1/10, 1/11, 1/12 e 1/15) não é necessária a adoção de vidros duplos, pois estes refletem em pequena diferença no resultado da temperatura interna e ainda assim não corrigem a faixa fora de conforto.

A influência da orientação solar na abertura também foi um ponto observado nesta pesquisa. Para fins de simplificação da análise dos resultados, optou-se por mostrar nos gráficos

que tratam sobre a orientação solar apenas os resultados para as seguintes dimensões: 1/20, 1/8 e 1/4 para vidros simples e duplos.

GRÁFICO 24- RESULTADO DA SIMULAÇÃO DAS ABERTURAS 1/9, 1/10, 1/11, 1/12 E 1/15 PARA A FACE OESTE COM VIDROS DUPLOS DO DORMITÓRIO 02 Z4 DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA TRADICIONAL DE ESPESSURA DE 12 CM



Fonte: O autor

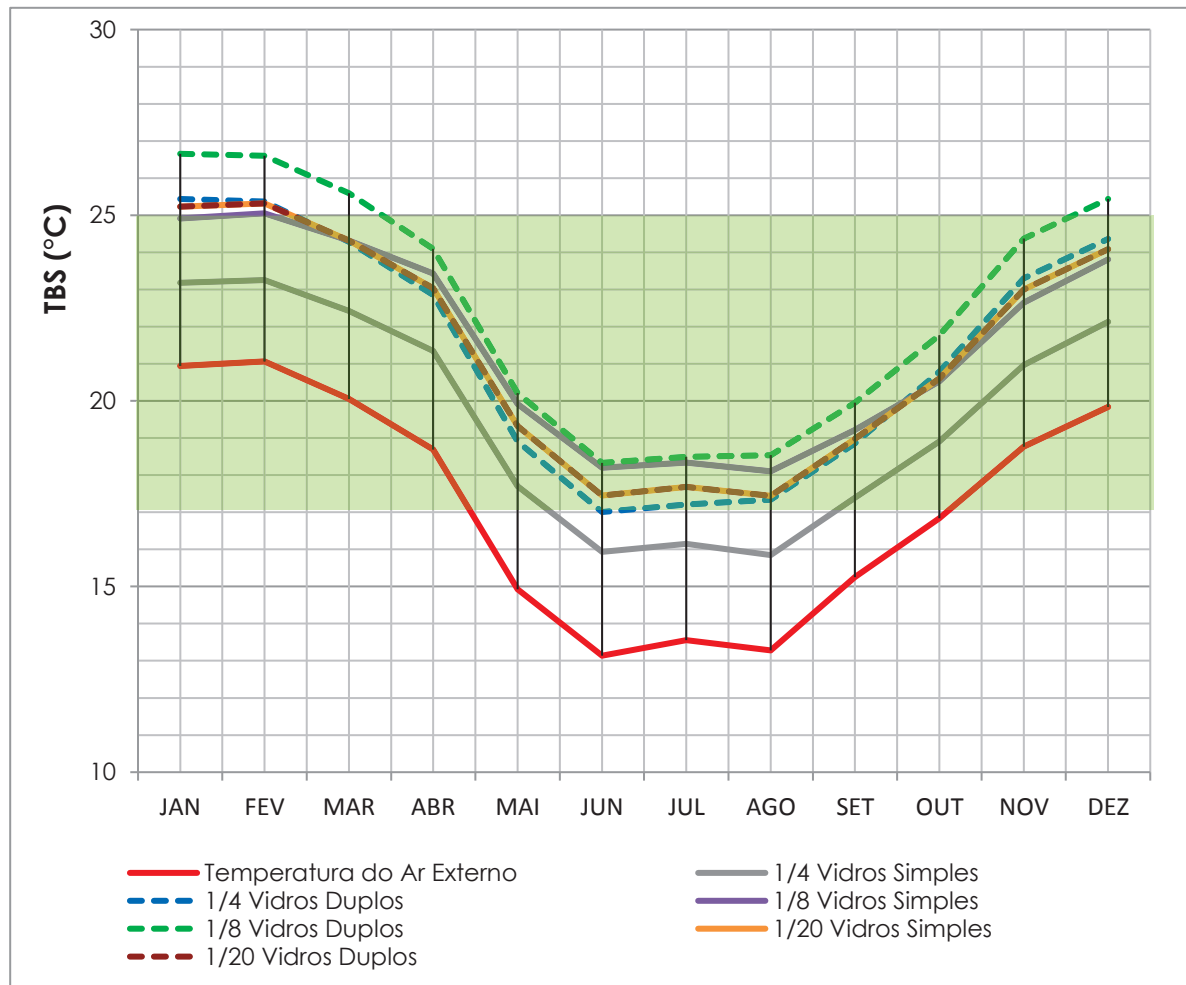
Essa escolha se deu por ser a abertura de 1/20 da área do piso a abertura de melhor desempenho tanto para vidros duplos quanto para simples. A escolha das janelas equivalentes a 1/8 e 1/4 da área do piso foi por essas resultarem no pior desempenho para vidros duplos e simples, respectivamente.

O Gráfico 25, a seguir, demonstra a influência da dimensão das aberturas para a fachada norte. As aberturas com área entre 2,45 m² a 1,96 m² e vidro simples não permanecem dentro da área da temperatura de conforto durante o ano todo. Apenas para temperaturas do ar externo maiores do que 14,75 °C o ar interno se torna confortável.

Na simulação com vidros duplos para face norte, o limite inferior não é conclusivo, mas pode se afirmar que é maior do que 13,24 °C (a menor temperatura média mensal do ar para Curitiba). O limite superior é visível, sendo que nesta face é de 21 °C. Para temperaturas

externas do ar superiores a essa, o ambiente ultrapassa a faixa de conforto delimitada pelo diagrama.

GRÁFICO 25 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO DAS ABERTURAS DO DORMITÓRIO 02 Z4 PARA A ORIENTAÇÃO NORTE, DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA TRADICIONAL DE ESPESSURA DE 12 CM



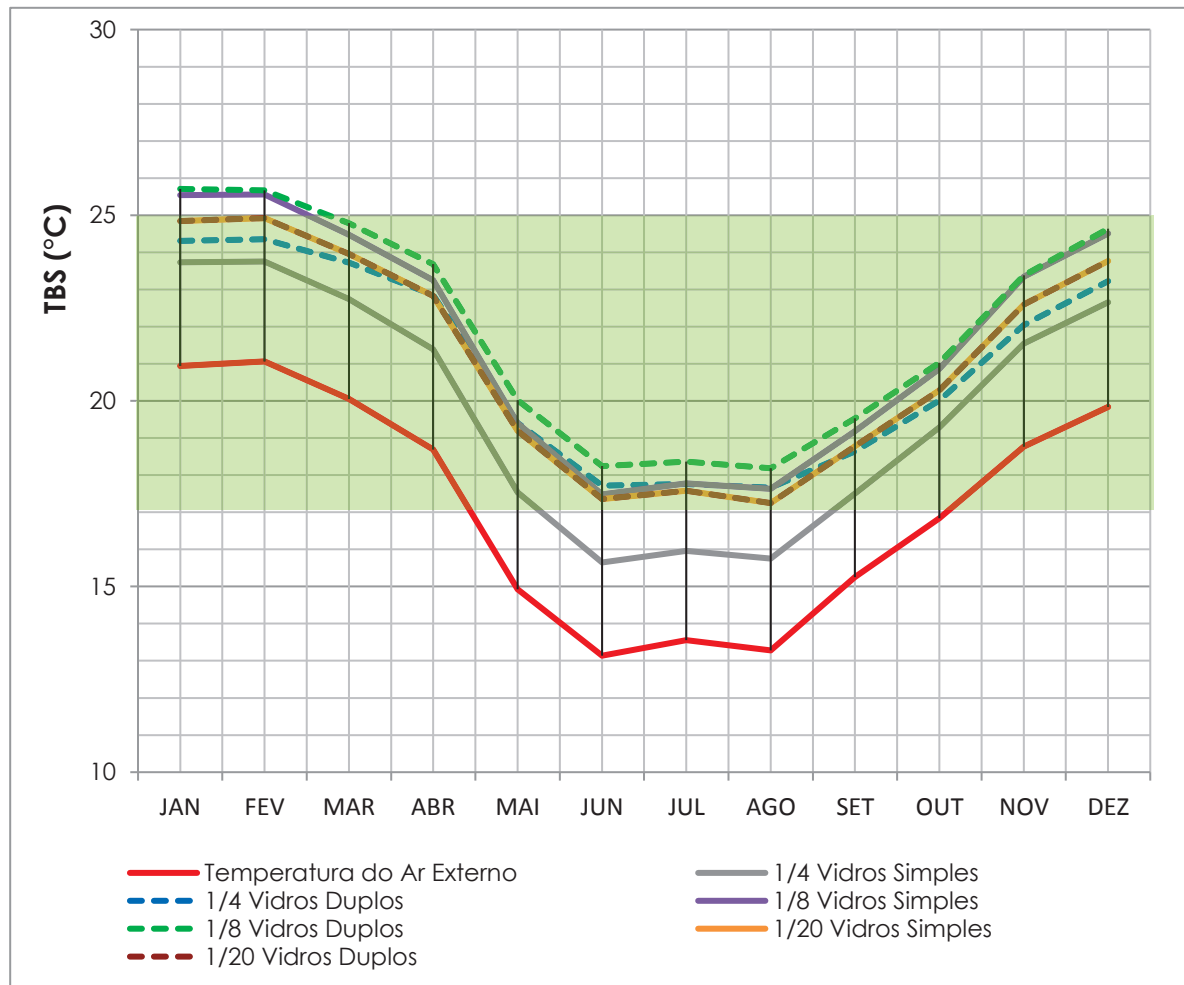
Fonte: O autor

O Gráfico 26 mostra o resultado para a abertura voltada à face oeste. A dimensão foi alterada de acordo com a Tabela 9. Assim como na orientação norte, as aberturas com vidros simples e áreas de 2,45 m² a 1,96 m² não permanecem dentro da área da temperatura de conforto durante o ano todo. Apenas para temperaturas do ar externo maiores do que 14,75 °C o ar interno se torna confortável.

Para as aberturas com vidros simples entre 0,49 m² até 1,63 m², voltadas para a face oeste, durante o período mais quente do ano, quando as temperaturas médias mensais do ar externo ficam próximas aos 21 °C a temperatura interna resultante ultrapassa os 25 °C, ou seja,

durante os meses de janeiro e fevereiro o ambiente interno fica com temperaturas ligeiramente acima da Zona de Conforto Térmico (Gráfico 26).

GRÁFICO 26- RESULTADO DA SIMULAÇÃO DAS ABERTURAS DO DORMITÓRIO 02 Z4 PARA A ORIENTAÇÃO OESTE, DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA TRADICIONAL DE ESPESSURA DE 12 CM



Fonte: O autor

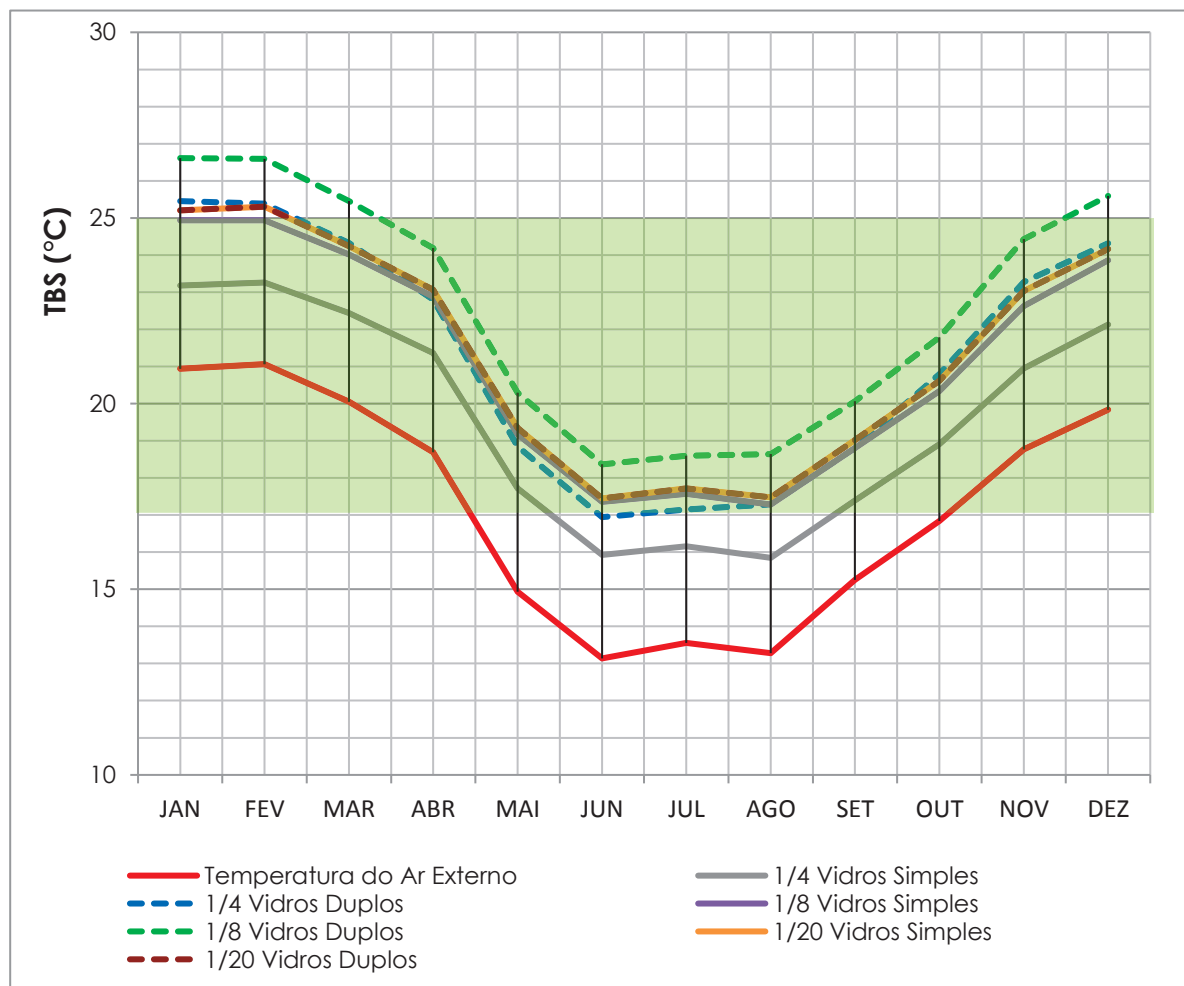
Para vidros duplos, as aberturas de 1/4 e 1/20 garantem conforto durante todo o ano. As demais aberturas alcançam valores de temperaturas internas acima dos 25 °C para temperaturas de bulbo seco do ar externas maiores do que 21°C.

O Gráfico 27 mostra que, assim como para a face oeste e norte, as aberturas com vidros simples e áreas de 2,45 m² a 1,96 m² voltadas para a face sul, não permanecem dentro da área da temperatura de conforto durante o ano todo. Apenas para temperaturas do ar externo maiores que 15 °C o ar interno se torna confortável. O limite superior não foi verificado nesta simulação, pois mesmo para as maiores temperaturas médias mensais do ar externo (21 °C) as temperaturas

do ar interno não ficaram maiores do que 25 °C, e portanto permaneceram dentro da Zona de Conforto Térmico.

Para as aberturas com vidros duplos, ao contrário do resultado para vidros simples, o limite inferior não é conclusivo, pois mesmo para as menores temperaturas médias mensais a temperatura interna permanece em conforto. No entanto, o limite superior encontrado foi de 20,75 °C.

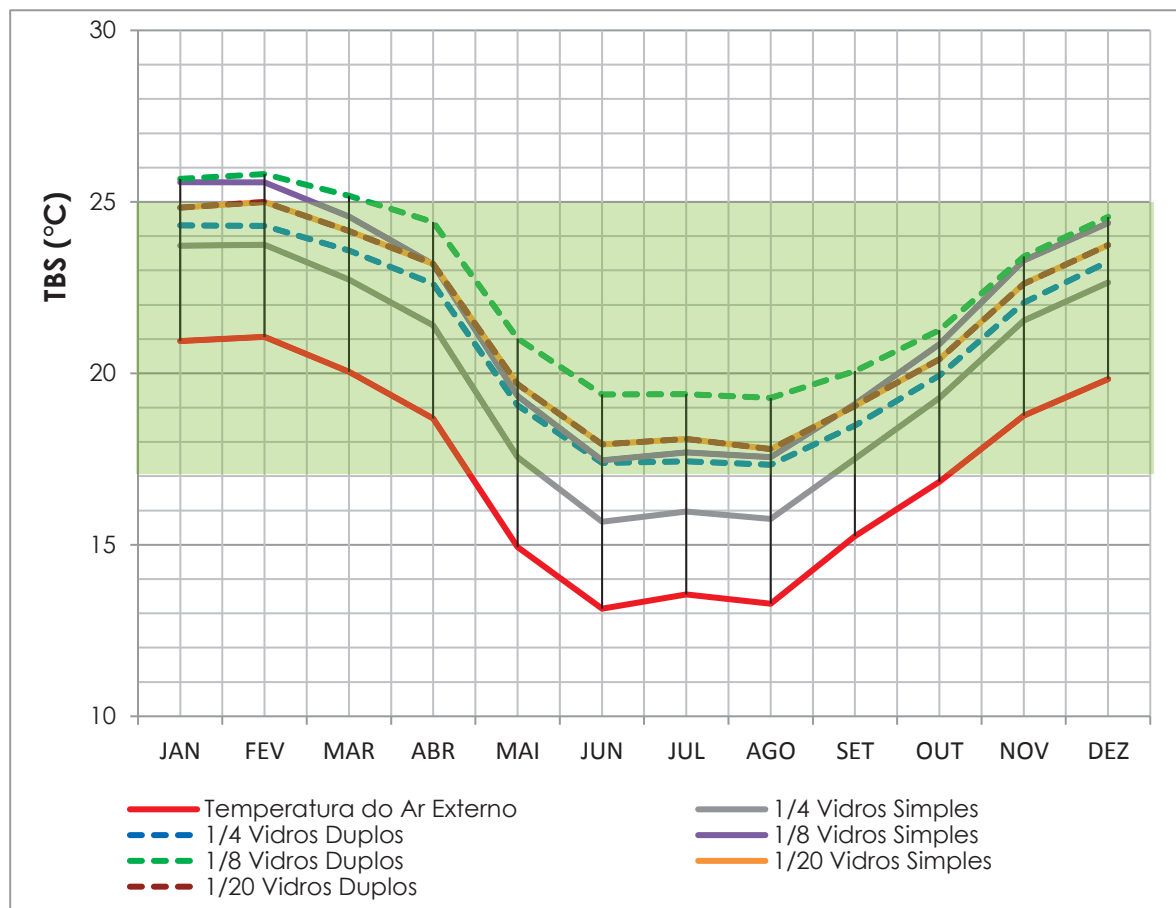
GRÁFICO 27- RESULTADO DA SIMULAÇÃO DAS ABERTURAS DO DORMITÓRIO 02 Z4 PARA A ORIENTAÇÃO SUL, DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA TRADICIONAL DE ESPESSURA DE 12 CM



Fonte: O autor

O Gráfico 28 referente à simulação da abertura voltada para a face leste reafirma os resultados demonstrados pelos gráficos acima (Gráficos, 25, 26 e 27) para as demais orientações.

GRÁFICO 28- RESULTADO DA SIMULAÇÃO DAS ABERTURAS DO DORMITÓRIO 02 Z4 PARA A ORIENTAÇÃO LESTE, DO EDIFÍCIO COM PAREDES INTERNAS EM ALVENARIA TRADICIONAL DE ESPESSURA DE 12 CM



Fonte: O autor

Para as aberturas de 1/4 e 1/5 da área do piso com vidros simples o ambiente interno fica em temperatura de conforto térmico apenas para temperatura do ar externo maior do que 14,75 °C. Para as demais dimensões de abertura não foi verificado o limite inferior, pois mesmo com a menor média mensal da temperatura do ar externo da cidade de Curitiba o ambiente tem temperatura interna maior do que 17°C. O limite superior para essas dimensões é de 20,25 °C, temperatura na qual se observa que as médias mensais ultrapassam a Zona de Conforto Térmico.

Com o uso de vidros duplos, novamente o limite inferior não é conclusivo por permanecer durante todo o ano o ambiente interno com temperatura acima dos 17 °C. O limite superior verificado foi de 21 °C.

O resumo dos resultados obtidos pelas simulações para vidros simples descritas neste item está na Tabela 10, a seguir. As janelas de proporção da área do piso de 1/4 e 1/5 foram

consideradas em apenas um grupo e as demais aglutinadas em outro. O agrupamento de dados foi escolhido por ser uma forma de simplificar os resultados com a intenção de qualificá-los para esta pesquisa.

TABELA 10: LIMITES INFERIOR E SUPERIOR DAS ABERTURAS SIMULADAS PARA A ZONA DE AQUECIMENTO SOLAR COM VIDROS SIMPLES

Abertura (proporção da área do piso)	Orientação	Limite Inferior (°C)	Limite Superior (°C)
1/4 e 1/5	Norte	14,75	Não conclusivo
1/4 e 1/5	Oeste	14,75	Não conclusivo
1/4 e 1/5	Sul	15,00	Não conclusivo
1/4 e 1/5	Leste	14,75	Não conclusivo
1/6, 1/7, 1/8, 1/9, 1/10, 1/11, 1/12, 1/15 e 1/20	Norte	Não conclusivo	20,80
1/6, 1/7, 1/8, 1/9, 1/10, 1/11, 1/12, 1/15 e 1/20	Oeste	Não conclusivo	20,50
1/6, 1/7, 1/8, 1/9, 1/10, 1/11, 1/12, 1/15 e 1/20	Sul	Não conclusivo	Não conclusivo
1/6, 1/7, 1/8, 1/9, 1/10, 1/11, 1/12, 1/15 e 1/20	Leste	Não conclusivo	20,25

Fonte: O Autor

O resumo dos resultados obtidos para os vidros duplos está na Tabela 11, a seguir. O que se conclui dela é que para aberturas de 1/4 da área do piso o melhor desempenho ocorre nas fachadas oeste e leste. Na fachada norte o limite inferior para esta abertura foi de 13°C.

Para todas as outras aberturas simuladas (1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9, 1/10, 1/11, 1/12, 1/15 e 1/20) o limite inferior não foi conclusivo, pois mesmo com a menor temperatura mensal média, de aproximadamente 13 °C, esse limite não é atingido. Isso significa que para essas aberturas o ambiente interno não sofre com temperaturas baixas, pois não há temperatura abaixo de 17 °C durante o ano.

Os melhores desempenhos com relação à temperaturas altas são para as aberturas de 1/4 e 1/5. Os resultados obtidos para ambas as dimensões não foram conclusivos quanto ao limite superior, ou seja, para a maior temperatura média mensal do ar externo, que são nos meses de janeiro e fevereiro, o ambiente interno permanece em conforto.

TABELA 11: LIMITES INFERIOR E SUPERIOR DAS JANELAS COM VIDROS DUPLOS SIMULADAS PARA A ZONA DE AQUECIMENTO SOLAR

Abertura (proporção da área do piso)	Orientação	Limite Inferior (°C)	Limite Superior (°C)
1/4	Norte	13,00	20,75
1/5	Norte	13,25	Não conclusivo
1/4	Oeste	Não conclusivo	Não conclusivo
1/5	Oeste	13,50	Não conclusivo
1/4	Sul	13,25	20,75
1/5	Sul	13,50	Não conclusivo
1/4 e 1/5	Leste	Não conclusivo	Não conclusivo
1/6, 1/7, 1/11 e 1/12	Norte	Não conclusivo	20,50
1/8	Norte	Não conclusivo	19,50
1/9	Norte	Não conclusivo	19,75
1/10	Norte	Não conclusivo	20,00
1/15 e 1/20	Norte	Não conclusivo	20,75
1/6	Oeste	Não conclusivo	20,50
1/7 e 1/8	Oeste	Não conclusivo	20,25
1/9	Oeste	Não conclusivo	20,75
1/10, 1/11, 1/12, 1/15 e 1/20	Oeste	Não conclusivo	21,00
1/6	Sul	Não conclusivo	19,50
1/7	Sul	Não conclusivo	19,75
1/8	Sul	Não conclusivo	19,25
1/9	Sul	Não conclusivo	20,00
1/10 e 1/11	Sul	Não conclusivo	20,25
1/12 e 1/15	Sul	Não conclusivo	20,50
1/20	Sul	Não conclusivo	20,75
1/6 e 1/7	Leste	Não conclusivo	19,75
1/8	Leste	Não conclusivo	19,50
1/9	Leste	Não conclusivo	20,25
1/10, 1/11 e 1/12	Leste	Não conclusivo	20,75
1/15 e 1/20	Leste	Não conclusivo	21,00

Fonte: O Autor

As aberturas de 1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9, 1/10, 1/11, 1/12, 1/15 e 1/20 tem seu limite superior variando entre 19,50 °C até 21 °C. Esse intervalo é próximo ao obtido com janelas simples, que possuem limites superior maiores do que 20,25 °C.

Após a análise dos resultados das simulações para vidros simples expostas neste item, que dizem respeito à relação das aberturas com dimensão e orientação solar, pode-se concluir que a dimensão recomendada pela Norma não foi verificada.

A janela do Dormitório 02 (Z4) deste projeto deveria ficar com área entre 2,45 m² e 1,47 m², de acordo com a NBR 15.220-3, no entanto, os resultados obtidos para vidros simples demonstram que essas dimensões tiveram desempenho térmico inferior às demais áreas de abertura simuladas. Como exceção, apenas a proporção de 1/6 (área da abertura em relação à área do piso) possui resultados semelhantes às demais.

Para as demais aberturas com vidros simples, a norma foi parcialmente verificada. Devem ser testadas para temperaturas inferiores as encontradas em Curitiba a fim de serem confirmadas.

Para vidros duplos a norma não é verificada, o que pode se concluir de que eles, juntamente com o correto dimensionamento são um parâmetro que deve ser atendido para a estratégia de aquecimento solar passivo. Aberturas de 1/4 e 1/5 da área do piso em qualquer orientação solar atendem a demanda de conforto para a cidade de Curitiba. Porém é inconclusivo o resultado do limite inferior para a zona, por não ter a cidade média mensal de 10,5 °C ou inferior.

Aberturas de 1/6 da área do piso, recomendadas pela Norma, com vidros duplos não atendem ao necessário para a cidade de Curitiba, pois ultrapassam durante os meses de verão da zona de conforto térmico. No entanto apesar de inconclusivo, o resultado verifica a Norma.

A alteração das aberturas quanto à dimensão e orientação reafirma o concluído anteriormente. A Norma não foi verificada para a Zona de Aquecimento Solar, de acordo com as simulações desta pesquisa para os parâmetros por ela estipulados. Mesmo com a alteração das aberturas dentro da implantação do edifício com melhor desempenho térmico e paredes internas que atenderam parcialmente ao esperado para a Zona de Massa Térmica, no intervalo de temperatura de 10,5 °C e 14 °C (Zona de Aquecimento Solar), não foi atingida a Zona de Conforto Térmico esperada.

A simulação também demonstra que a estratégia de Aquecimento Solar Passivo pode ser verificada desde que sejam utilizados vidros duplos nas janelas, ou seja, que seja aumentada a resistência térmica do material utilizado na superfície envidraçada. O estudo não é conclusivo, como citado anteriormente, pois as temperaturas médias de Curitiba não atingem o limite

inferior da zona. Mas pode se verificar pela pesquisa que a aplicação da estratégia, juntamente com o uso de vidros duplos é suficiente para promover dentro dos ambientes internos o conforto térmico na cidade de Curitiba. O limite superior de aplicação da estratégia é de 21 °C.

Pode se inferir também, a partir dos resultados, que o tamanho das superfícies envidraçadas possui maior impacto na temperatura interna do ambiente do que a sua orientação. Outra conclusão é que a adoção de vidros duplos é um parâmetro para a estratégia do aquecimento solar da edificação. E que sem ele, os limites esperados pelo diagrama não são atingidos.

4.6 ZONA DE AQUECIMENTO ARTIFICIAL

A Zona de Aquecimento Artificial, ou seja, por calefação é a quarta Zona à qual a Zona Bioclimática 01, na qual Curitiba está situada, pertence. Segundo a NBR 15.220-3, para temperaturas do ar externo abaixo de 10,5 °C o aquecimento deverá ocorrer de forma artificial. A Norma considera que para esse valor a arquitetura solar passiva não é suficiente.

A presente pesquisa tem como objetivo analisar as estratégias recomendadas para a cidade de Curitiba quanto ao projeto de arquitetura passiva. Para tanto a análise do aquecimento artificial não foi considerado relevante para este estudo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa teve como objetivo analisar as estratégias para a Zona Bioclimática 01, na qual está inserida Curitiba. As estratégias analisadas são aquelas referentes à técnicas de arquitetura passiva.

A partir dos resultados alcançados pelas simulações com o software EnergyPlus, pode-se concluir que a adição de massa térmica nas paredes internas dentro de parâmetros construtivos reais (ou seja, de acordo com as soluções estruturais e de vedação correntes na construção de edifícios multifamiliares) não implica em um ganho significativo quanto ao conforto térmico no interior do ambiente.

A Zona de Massa Térmica para Aquecimento descrita no Diagrama Bioclimático da NBR 15.220-3 foi parcialmente verificada. O limite superior encontrado nas simulações foi de 21 °C e não 17 °C como descreve o Diagrama.

Na comparação do desempenho térmico das paredes internas, a parede constituída de *dry-wall* de 7 cm com cavidade preenchida por lã de rocha foi a com melhor desempenho, sendo mais eficiente do que a de alvenaria tradicional com espessura total de 15 cm.

Todas as paredes internas simuladas nesta pesquisa resultam em conforto térmico para o ambiente interno quando no intervalo de temperatura do ar externo da Zona de Massa Térmica para Aquecimento (14°C à 17°C). Portanto pode-se inferir que paredes internas de alvenaria tradicional de 12 cm e 15 cm, assim como *dry-wall* de 7 cm e 10 cm com e sem lã rocha são todas adequadas ao clima de Curitiba.

Conclui-se que a escolha dos materiais construtivos para as paredes internas para a cidade deve ser relacionada às demandas de projeto e obra mais do que quanto à questões de desempenho térmico do edifício.

Para a Zona de Aquecimento Solar da Edificação não foram verificados os limites dispostos no Diagrama Bioclimático da Norma. Mesmo com a alteração da implantação do edifício não se obteve os resultados esperados.

As simulações demonstraram que as aberturas recomendadas pela Norma para a Zona Bioclimática 01 não resultam em melhor desempenho térmico. Ao contrário do esperado, elas resultaram em menor conforto térmico.

Vale destacar nesse ponto que a imprecisão da estratégia com relação a recomendação das aberturas prejudica a análise. Não há qualquer menção sobre dimensionamento ou orientação, tampouco ao uso de esquadrias mais eficientes ou especificação das propriedades térmicas dos vidros.

Com a intenção de se obter algum resultado conclusivo quanto à zona de aquecimento solar passivo, foram realizadas as mesmas simulações para vidros duplos. O que resultou na conclusão de que a partir do uso de vidros duplos nas janelas, as aberturas médias recomendadas pela Norma promovem conforto térmico no interior do edifício durante todo o ano na cidade de Curitiba. Apenas algumas aberturas, durante os meses de verão ultrapassaram a faixa de conforto em valores de até 1°C.

Ainda assim, não se pode confirmar o limite inferior da estratégia, devem ser realizadas simulações sob temperaturas médias inferiores as de Curitiba a fim de se verificar o limite de aplicação da estratégia.

Conclui-se portanto que a utilização de vidros duplos é estratégia essencial para a zona de aquecimento solar passivo e deve ser incluída entre os parâmetros exigidos pela Norma.

Finalmente, uma importante conclusão deste estudo foi de que a área das aberturas, mais do que a orientação solar influencia para o conforto térmico do ambiente interno.

Há necessidade de maior número de simulações a fim de se verificar os resultados. A interação do edifício com o meio inserido, elemento que foi desconsiderado neste estudo, deverá ser considerada para uma análise mais profunda. Principalmente no que diz respeito à análise da orientação solar, o sombreamento no edifício causa efeitos que não devem ser ignorados.

Principalmente em relação à análise da Zona de Aquecimento Solar os limites devem ser novamente verificados em diferentes plantas e formas de edifício, por não haver determinação de parâmetros de referência para projeto não se considera que os resultados obtidos nesta pesquisa devem ser extrapolados para outros projetos arquitetônicos.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os resultados das simulações indicaram que os limites a serem aplicados para as estratégias bioclimáticas determinadas em Norma devem ser revistos. No entanto, alguns parâmetros devem ser reavaliados e outros devem ser estabelecidos para que se verifique novamente os resultados.

Houve dificuldade em estabelecer o valor correto dos dados de entrada dos materiais tradicionais. Não é comum no Brasil o fornecedor informar ao consumidor propriedades térmicas dos seus produtos. Isso ocorre especialmente em produtos tradicionalmente empregados na construção civil. Os tijolos cerâmicos são um exemplo disso. Mesmo usando a NBR 15.220 como base para determinar essas propriedades, o intervalo de valores que ela determina é grande. Portanto uma primeira sugestão é a averiguação dos valores relativos à condutividade, densidade e resistência térmica dos materiais tradicionalmente empregados nas construções.

A ilha de calor, assim como a influência dos edifícios vizinhos em relação ao sombreamento do edifício, que foram desconsiderados para esta pesquisa, merecem uma atenção especial. Existe possibilidade de estes fenômenos determinarem importantes diferenças, inclusive quanto ao horário que eles influenciam no desempenho térmico do edifício. Existem pesquisas no município de Curitiba quanto à ilha de calor, mas não foram encontrados estudos que liguem a ilha de calor ao desempenho térmico interno do edifício. (KRUGER, 2007)

Outro fator de impacto nas simulações de desempenho térmico diz respeito aos hábitos dos usuários de uma residência. Apesar de o Balanço Energético Nacional possuir bastante dados relativos ao consumo de energia das habitações e possibilitar a compreensão dos hábitos gerais do brasileiro, um estudo ligando o consumo de energia e portanto geração de calor no ambiente interno do edifício, com o período do dia possibilitaria uma simulação mais acurada.

A análise da influência do envelopamento do edifício assim como novas pesquisas sobre materiais e espessuras de laje contribui para o desenvolvimento deste estudo. Outros materiais construtivos, tais como vidro, esquadrias e revestimentos externos devem ser estudados e uma análise crítica da Norma com sugestão de novos parâmetros pode ser estabelecida.

Na Zona de Aquecimento Solar da Edificação uma das recomendações diz respeito à forma do edifício, porém não determina qual a forma ideal, nem estipula parâmetros. Um estudo analítico sobre os diferentes arranjos do edifício com diferentes perímetros de superfícies de

troca com calor externo pode resultar em dados que auxiliem no desenvolvimento de edifícios adequados à Zona Bioclimática 01.

Ainda relativa à Zona de Aquecimento Solar da Edificação um estudo específico acerca de janelas mais eficientes, seja com o uso de esquadrias de melhor desempenho tem o potencial de adicionar informações importantes para uma melhor definição da questão relativa às aberturas especificadas por esta estratégia.

Também se considera importante que o estudo das dimensões das aberturas em relação à área e sua orientação solar devem ser melhor detalhadas em pesquisa específica. A análise constante neste estudo é satisfatória quanto à análise dos resultados perante ao Diagrama Bioclimático, mas não se aprofundou no tema.

Outra imprecisão da Norma é quanto ao sombreamento das aberturas. Um estudo específico a respeito do efeito do sombreamento, assim como da coloração das aberturas podem gerar dados úteis para um novo parâmetro.

Por fim, apesar de não ser atendida pela NBR 15.220, simulações devem ser feitas em habitações unifamiliares e unifamiliares em série, comparando os resultados obtidos por esta pesquisa.

7 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M.; SCHAEFFER, R.; LA ROVERE, E..The potential for electricity conservation and peak load reduction in the residential sector of Brazil. **Energy**, v.26, n.5, p. 413-429, Apr, 2001

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220:1**: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.**NBR 15220:2**: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.**NBR 15220-3**. Desempenho Térmico de Edificações- Parte 3: Zoneamento. Bioclimático Brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.**NBR 15.575**, Desempenho de Edificações Habitacionais- Partes 4 e 5: Desempenho Térmico. Rio de Janeiro, 2013

ACHAO, C. da C. L. **Análise da Estrutura do Consumo de Energia pelo Setor Residencial Brasileiro**. 122 f. Dissertação(Mestrado em Engenharia em Ciência do Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro-COPPE. 2003.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Ashrae handbook fundamentals**. EUA: Ashrae Standards, 2009.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Ashrae Standard 55** - Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, 1992.

BARROSO-KRAUSE, Cláudia, **Desempenho Térmico e Eficiência Energética em Edificações: Conforto Higrotérmico Dirigido à Concepção Arquitetônica**, 2011.

BODACH, S.; HAMHABER, J.. Energy efficiency in social housing: Opportunities and barriers from a case study in Brazil. **Energy Policy**, v.38, p. 7898-7910, 2010.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Balanco energético nacional: ano base 2012**. Brasília, 2013.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Balanco energético nacional: ano base 2014**. Brasília, 2015.

CBIC, **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013**, 2013.

FANGER, P. O. **Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering**. Florida: Robert E. Krieger Publishing Company, 1982

GHISI, E., TINKER, J. A.;.An Ideal Window Area concept for energy efficient integration of daylight and artificial light in buildings.**Science Direct**, v.40 p. 51 – 61, 2005

GIVONI; Baruch. **Man, Climate and Architecture**. Elsevier Architectural Science Series, 1969.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines.**Energy and Buildings**, v.18: p. 11-23. 1992.

GOULART, Solange V. G.; LAMBERTS, Roberto; FIRMINO, Samantha. **Dados Climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades Brasileiras**. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC,1998. 345 p.: il.

GOULART, S. **Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações em Florianópolis**. Florianópolis, 1993. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal de Santa Catarina, 1993.

HALLIDAY, S. P. **Architecture of habitat: design for life**. The Royal society. Londres, 1997.

HUMPHREYS, M.A., RIJAL, H.B., NICOL, J.F.. Updating the adaptive relation between climate and comfort indoors; new insights and an extended database. **Building and Environment**, v.63, p. 40-55, 2013.

BANCO DE DADOS DE TEMPERATURA E UMIDADE. Disponível em 56

INMET, 2014. Acesso em março, 2016

BANCO DE DADOS TEMPERATURA E UMIDADE. Disponível em: <<http://bancodedados.cptec.inpe.br/estatisticas/>>. Acesso em fevereiro, 2016.

IZARD, J. L.; GUYOT, A. **Arquitetura bioclimática**. Barcelona: Gustavo Gili, 1983.

KALVELAGEA,K., PASSEA, U., RABIDEAUB, S., TAKLEB E.S..Changing climate: The effects on energy demand and human comfort. **Energy and Buildings**, v.76, p. 373–380, 2014

KRÜGER, E., GIVONI, B. Outdoor measurements and temperature comparisons of seven monitoring stations: Preliminary studies in Curitiba, Brazil. **Building and Environment**, v. 42 p.1685–1698, 2007.

KRÜGER, E. L., ROSSI, F. Effect of personal and microclimatic variables on observed thermal sensation from a field study in southern Brazil. **Building and Environment**, v. 46 p. 690-697, 2011.

LINDMAIER, P.; BEDNAR, T. **Development of a holistic and affordable concept of building physics for the conditions in Curitiba (Brazil), in comparison to Vienna, including a suitable cost-benefit analysis within the framework of a realistic adaption of thermal comfort**. 101 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Construção Civil FH Campus Wien), 2014.

MELO, A. P.; SORGATO, M.J., LAMBERTS, R. .Building energy performance assessment: Comparison between ASHRAE standard 90.1 and Brazilian regulation. **Energy and Buildings**, v.70 p.372–383, 2014.

Melo, A.P.; Westphal, F.S.; Matos, M. **Apostila Do Curso Básico do programa Energyplus**. UFSC, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009

MILLER, W.; BUYS, L.; BELL, J.. Performance evaluation of eight contemporary passive solar homes in subtropical Australia. **Building and Environment**, v.56 p.57-68, 2012

MISHRA, A. K.; RAMGOPAL, M..Field studies on human thermal comfort - An overview. **Building and Environment**, v.64 p. 94-106, 2013

NIKOLOPOULOU, M.; BAKER, N.; STEEMERS, K. Thermal Comfort In Outdoor Urban Spaces: Understanding The Human Parameter. **Solar Energy** v. 70, No. 3, p. 227–235, 2001

OLGYAY, Victor. **Design with climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism**. New Jersey, USA; University Press, 1975.

PEREIRA, C.D., GHISI, E..The influence of the envelope on the thermal performance of ventilated and occupied houses. **Energy and Buildings**, v.43 p.3391–3399, 2011.

PROCEL EDIFICA. **Etiquetagem de Edifícios**. Disponível em: <http://www.eletronbras.com/elb/data/Pages/LUMISF9A71E97PTBRIE.htm>. Acesso em 28 de abril de 2014.

ROBSON, C. **Real world research: a resource for social scientists and practitioner-researchers**. 2.ed. Oxford, Blackwell: 2002.

RORIZ, M. **Arquivos climáticos de municípios brasileiros**. ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. São Carlos - SP. janeiro de 2012a.

RORIZ, M. Apostila da Disciplina Conforto E Desempenho Térmico De Edificações para o programa de Pós-Graduação em Construção Civil da universidade Federal de São Carlos, 2008.

RORIZ, M. **Uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro**. ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. São Carlos - SP. janeiro de 2012 b.

RORIZ, M. **Segunda proposta de revisão do zoneamento bioclimático do Brasil**. ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. São Carlos - SP. dezembro de 2012 c.

RORIZ, M. **Classificação de Climas do Brasil- Versão 3.0**. ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. São Carlos - SP. março de 2014. CLASSIFICAÇÃO DE

SCHMID, A. L. **Idéia de Conforto: Reflexões sobre o ambiente construído**. Pacto Ambiental, 2005

SCHMID, A. L.; et. al. O tratamento do conforto térmico em lançamentos imobiliários na zona temperada. A questão da regionalização da Arquitetura. **Arquitextos Vitruvius**, São Paulo, ano 13, n. 146.07, jul. 2012. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/13.146/4426>.

SINGH, M. K.; MAHAPATRA, S.; ATREYA, S.K. Thermal performance study and evaluation of comfort temperatures in vernacular buildings of North-East India. **Building and Environment**, v.45 p. 320-329, 2010.

TRIANA, M.A.; LAMBERTS, R.. **Metodologia de Avaliação Ambiental Brasileira para o setor residencial: Eficiência energética**. IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2007

U.S.DEPARTMENT OF ENERGY. **Energy Plus, v.8.3** . Disponível em <https://energyplus.net/downloads>, 2016.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Energy Plus, v.8.3 Weather Data**. Disponível em https://energyplus.net/weather-location/south_america_wmo_region_3/BRA//BRA_Curitiba-Afonso.Pen.838400_SWERA, 2016.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY **Getting Started with EnergyPlus Basic Concepts Manual - Essential Information You Need about Running EnergyPlus**. ENERGY PLUS, 2013. Disponível em <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/pdfs/gettingstarted.pdf>

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.