

Bruno Aied Passos

Impacto do uso de isolante térmico em Habitações de Interesse Social nas diferentes condições climáticas brasileiras

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Simon Westphal

Florianópolis
2016

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

Passos, Bruno Aied

Impacto do uso de isolante térmico em Habitações de Interesse Social nas diferentes condições climáticas brasileiras / Bruno Aied Passos ; orientador, Fernando Simon Westphal - Florianópolis, SC, 2016.

154 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo.

Inclui referências

1. Arquitetura e Urbanismo. 2. Habitação de interesse social. 3. Isolante térmico. 4. 8 zonas bioclimáticas brasileiras. 5. Simulação computacional. I. Westphal, Fernando Simon. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

RESUMO

Diversos são os estudos, ao redor do mundo, que vêm avaliando os impactos da utilização de isolante térmico nas vedações de edificações. No Brasil, o material ainda é pouco utilizado e não se sabe o real efeito de sua implementação na construção civil para as condições climáticas do país. A presente dissertação identifica o impacto do uso de isolante térmico nas condições térmicas internas em Habitações de Interesse Social (HIS) em alvenaria nas diferentes condições climáticas brasileiras. O estudo comparativo, feito por meio de um modelo computacional elaborado e simulado no software EnergyPlus 8.1, apresenta resultados que indicam que a utilização do isolante térmico pode ser benéfica às condições de conforto térmico e eficiência energética da Habitação de Interesse Social, uma vez que adotado somente em coberturas nas zonas bioclimáticas mais quentes, e nas paredes e coberturas nas zonas bioclimáticas mais frias do Brasil.

Palavras-chave: Habitação de interesse social. Isolante térmico. 8 zonas bioclimáticas brasileiras. Simulação computacional.

ABSTRACT

There are several studies around the world which have been evaluated the impacts of thermal insulation on building sealing. In Brazil, those materials are not frequently used yet and the real effects of their implementation in building construction for the country's weather conditions are on an early stage. This thesis identifies the impact of insulation on internal thermal conditions in social housing made of masonry in Brazilian's weather zones. The comparative study, done with a computer model elaborated and simulated on the EnergyPlus 8.1 software, shows results that indicates that the usage of thermal insulation may be positive to thermal comfort and energy efficiency of social housing, if used only on roofing at the warmer zones, and on roofing and walls at colder zones of Brazil.

Keywords: Social housing. Thermal insulation. 8 bioclimatic zones in Brazil. Computer simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Procedimentos metodológicos.	24
Figura 2- Configurações de parede convencional (a) e parede proposta (b).	29
Figura 3- Configuração de parede estudada e espessuras ideais de isolante térmico para diferentes climas chineses.	30
Figura 4 - Configuração da parede e cobertura proposta.	31
Figura 5 - Detalhes da composição construtiva das paredes e da cobertura no protótipo isolado.	33
Figura 6- Detalhes da composição construtiva das paredes e da cobertura no protótipo isolado.	33
Figura 7- Configurações de paredes estudadas por Friess et. al. (2012).	34
Figura 8- Perspectiva do modelo estudado por Friess et. al. (2012).	34
Figura 9- Planta da edificação estudada por Kolaitis et. al. (2013).	36
Figura 10- Alternativas de paredes estudadas por Kolaitis et. al. (2013).	36
Figura 11- Demanda de energia em função do tipo de parede, tipo de usuário e localização (Csa-Atenas; Cfb- Kozani).	37
Figura 12 – Corte da parede externa avaliada por Nyers et. al.(2015).	38
Figura 13- Geometria do pavimento intermediário do modelo analisado por Chirarattananon et al. (2012).	38
Figura 14 – Porcentagem de horas de calor (temperaturas acima de 25°C) durante o verão para o apartamento considerado como habitação, em Évora.	40
Figura 15 - Configurações da cobertura analisada.	41
Figura 16 - Máxima anual do fluxo de calor diário médio da cobertura com e sem isolante térmico em função da reflexibilidade.	41
Figura 17- Consumo anual de energia para dois tipos de paredes externas: <i>steel frame</i> e alvenaria, para cada uma das cidades analisadas.	42
Figura 18 – Corte ilustrativo de edificação com isolante térmico nas paredes e cobertura sob condições climáticas de grande amplitude térmica diária.	44
Figura 19 – Corte ilustrativo de edificação com isolante térmico nas paredes e cobertura sob condições climáticas de frio.	45
Figura 20 – Corte ilustrativo de edificação com janela protegida e com isolante térmico nas paredes e cobertura sob condições climáticas de calor.	45
Figura 21– Corte ilustrativo de edificação com isolante térmico somente na cobertura sob condições climáticas de calor.	46
Figura 22 – Zoneamento bioclimático brasileiro segundo a NBR 15220.	47
Figura 23- Mapa do Brasil com destaque para as cidades selecionadas para o estudo.	52
Figura 24- Carta Psicrométrica com dados horários típicos de temperatura e umidade de Curitiba, PR. Pontos pretos: horas de desconforto. Pontos cinza: horas de conforto pelo modelo adaptativo.	53
Figura 25- Carta Psicrométrica com dados horários típicos de temperatura e umidade de Santa Maria, RS. Pontos pretos: horas de desconforto. Pontos cinza: horas de conforto pelo modelo adaptativo.	57

Figura 26- Carta Psicrométrica com dados horários típicos de temperatura e umidade de São Paulo, SP. Pontos pretos: horas de desconforto. Pontos cinza: horas de conforto pelo modelo adaptativo.	61
Figura 27- Carta Psicrométrica com dados horários típicos de temperatura e umidade de Brasília, DF. Pontos pretos: horas de desconforto. Pontos cinza: horas de conforto pelo modelo adaptativo.	65
Figura 28- Carta Psicrométrica com dados horários típicos de temperatura e umidade de Vitória da Conquista/BA. Pontos pretos: horas de desconforto. Pontos cinza: horas de conforto pelo modelo adaptativo.	69
Figura 29- Carta Psicrométrica com dados horários típicos de temperatura e umidade de Campo Grande, MS. Pontos pretos: horas de desconforto. Pontos cinza: horas de conforto pelo modelo adaptativo.	73
Figura 30- Carta Psicrométrica com dados horários típicos de temperatura e umidade de Teresina, PI. Pontos pretos: horas de desconforto. Pontos cinza: horas de conforto pelo modelo adaptativo.	77
Figura 31- Carta Psicrométrica com dados horários típicos de temperatura e umidade de Recife, PE. Pontos pretos: horas de desconforto. Pontos cinza: horas de conforto pelo modelo adaptativo.	81
Figura 32- Perspectiva frontal da edificação simulada.	87
Figura 33 - Perspectiva posterior da edificação simulada.	87
Figura 34- Planta baixa da edificação simulada.	88
Figura 35- Zoneamento térmico da edificação simulada.	88
Figura 36- Detalhe do vão entre a telha de fibrocimento e a terço que a sustenta.	89
Figura 37- Esquema de área da janela que permitem a ventilação nos dormitórios. Medidas em centímetros.	92
Figura 38- Componentes das janelas dos dormitórios	96
Figura 39- Configuração de parede em alvenaria sem isolamento.	98
Figura 40- Configuração de parede em alvenaria com 50 mm de isolamento.	98
Figura 41- Laje de concreto sem isolante térmico.	99
Figura 42- Laje de concreto com isolante térmico.	99
Figura 43- Telhado em telha de fibrocimento sem isolante térmico.	99
Figura 44- Telhado em telha de fibrocimento com 50 mm de isolante térmico.	99
Figura 45- Configuração da laje de piso no modelo.	100
Figura 46 - Faixa de temperatura operativa aceitável para ambientes naturalmente condicionados.	105
Figura 47- Corte ilustrativo do Caso 3.	139
Figura 48- Corte ilustrativo do Caso 5.	140
Figura 49- Corte ilustrativo do Caso 6.	141
Figura 50- Corte ilustrativo do Caso 4.	142
Figura 51- Corte ilustrativo do Caso 2.	143
Figura 52- Corte ilustrativo do Caso 1.	143
Figura 53- Melhores resultados quanto conforto térmico de acordo com o zoneamento bioclimático brasileiro.	144

Figura 54 - Melhores resultados quanto a eficiência energética de acordo com o zoneamento bioclimático brasileiro.145

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1–Temperaturas médias (vazio entre as barras cinza escuro), médias das máximas e médias das mínimas (limite superior e inferior das barras em cinza escuro), máximas e mínimas mensais (limite superior e inferior das barras em cinza intermediário) e área de conforto pelo modelo adaptativo (faixa cinza claro) na cidade de Curitiba, PR.	54
Gráfico 2 – Taxa de radiação solar incidente [W/m ²] h, em Curitiba/PR.	54
Gráfico 3– Gráfico de frequência de amplitude térmica diária na cidade de Curitiba/PR.	55
Gráfico 4– Maiores e menores amplitudes térmicas diárias registradas em cada mês do ano na cidade de Curitiba/PR.	55
Gráfico 5– Amplitude térmica diária ao longo do ano na cidade de Curitiba/PR.	56
Gráfico 6- Umidade relativa do ar ao longo do ano na cidade de Curitiba/PR.	56
Gráfico 7- Temperaturas médias (vazio entre as barras cinza escuro), médias das máximas e médias das mínimas (limite superior e inferior das barras em cinza escuro), máximas e mínimas mensais (limite superior e inferior das barras em cinza intermediário) e área de conforto pelo modelo adaptativo (faixa cinza claro) na cidade de Santa Maria, RS.	58
Gráfico 8– Taxa de radiação solar incidente [W/m ²] h, em Santa Maria/RS.	58
Gráfico 9- Frequência de amplitude térmica diária na cidade de Santa Maria/RS.	59
Gráfico 10– Maiores e menores amplitudes térmicas diárias registradas em cada mês do ano na cidade de Santa Maria/RS.	59
Gráfico 11 –Amplitude térmica diária ao longo do ano na cidade de Santa Maria/RS.	60
Gráfico 12- Umidade relativa do ar ao longo do ano na cidade de Santa Maria/RS.	60
Gráfico 13- Temperaturas médias (vazio entre as barras cinza escuro), médias das máximas e médias das mínimas (limite superior e inferior das barras em cinza escuro), máximas e mínimas mensais (limite superior e inferior das barras em cinza intermediário) e área de conforto pelo modelo adaptativo (faixa cinza claro) na cidade de São Paulo, SP.	62
Gráfico 14 - Taxa de radiação solar incidente [W/m ²] h, em São Paulo/SP.	62
Gráfico 15- Frequência de amplitude térmica diária na cidade de São Paulo/SP.	63
Gráfico 16- Maiores e menores amplitudes térmicas diárias registradas em cada mês do ano na cidade de São Paulo/SP.	63
Gráfico 17- Amplitude térmica diária ao longo do ano na cidade de São Paulo/SP.	64
Gráfico 18- Umidade relativa do ar ao longo do ano na cidade de São Paulo/SP.	64

Gráfico 19- Temperaturas médias (vazio entre as barras cinza escuro), médias das máximas e médias das mínimas (limite superior e inferior das barras em cinza escuro), máximas e mínimas mensais (limite superior e inferior das barras em cinza intermediário) e área de conforto pelo modelo adaptativo (faixa cinza claro) na cidade de Brasília, DF.....	66
Gráfico 20 - Taxa de radiação solar incidente [W/m ²] h, em Brasília/DF.	66
Gráfico 21 - Frequência de amplitude térmica diária na cidade de Brasília, DF.	67
Gráfico 22 - Maiores e menores amplitudes térmicas diárias registradas em cada mês do ano na cidade de Brasília, DF.	67
Gráfico 23- Amplitude térmica diária ao longo do ano na cidade de Brasília, DF.	68
Gráfico 24- Umidade relativa do ar ao longo do ano na cidade de Brasília/DF.	68
Gráfico 25- Temperaturas médias (vazio entre as barras cinza escuro), médias das máximas e médias das mínimas (limite superior e inferior das barras em cinza escuro), máximas e mínimas mensais (limite superior e inferior das barras em cinza intermediário) e área de conforto pelo modelo adaptativo (faixa cinza claro) na cidade de Vitória da Conquista, BA.....	70
Gráfico 26- Taxa de radiação solar incidente [W/m ²] h, em Vitória da Conquista/BA.	70
Gráfico 27- Frequência de amplitude térmica diária na cidade de Vitória da Conquista, BA.	71
Gráfico 28- Maiores e menores amplitudes térmicas diárias registradas em cada mês do ano na cidade de Vitória da Conquista, BA.	71
Gráfico 29- Amplitude térmica diária ao longo do ano na cidade de Vitória da Conquista, BA.	72
Gráfico 30- Umidade relativa do ar ao longo do ano na cidade de Vitória da Conquista/BA.	72
Gráfico 31- Temperaturas médias (vazio entre as barras cinza escuro), médias das máximas e médias das mínimas (limite superior e inferior das barras em cinza escuro), máximas e mínimas mensais (limite superior e inferior das barras em cinza intermediário) e área de conforto pelo modelo adaptativo (faixa cinza claro) na cidade de Campo Grande, MS.	74
Gráfico 32- Taxa de radiação solar incidente [W/m ²] h, em Campo Grande/MS.	74
Gráfico 33- Frequência de amplitude térmica diária na cidade de Campo Grande, MS.....	75
Gráfico 34- Maiores e menores amplitudes térmicas diárias registradas em cada mês do ano na cidade de Campo Grande, MS.	75
Gráfico 35- Amplitude térmica diária ao longo do ano na cidade de Campo Grande, MS.....	76
Gráfico 36- Umidade relativa do ar ao longo do ano na cidade de Campo Grande, MS.....	76
Gráfico 37- Temperaturas médias (vazio entre as barras cinza escuro), médias das máximas e médias das mínimas (limite superior e inferior das barras em	

cinza escuro), máximas e mínimas mensais (limite superior e inferior das barras em cinza intermediário) e área de conforto pelo modelo adaptativo (faixa cinza claro) na cidade de Teresina, PI.....	78
Gráfico 38- Taxa de radiação solar incidente [W/m ²] h, em Teresina/PI.	78
Gráfico 39- Frequência de amplitude térmica diária na cidade de Teresina, PI.	79
Gráfico 40- Maiores e menores amplitudes térmicas diárias registradas em cada mês do ano na cidade de Teresina, PI.....	79
Gráfico 41- Amplitude térmica diária ao longo do ano na cidade de Teresina, PI.	80
Gráfico 42- Umidade relativa do ar ao longo do ano na cidade de Teresina, PI.	80
Gráfico 43- Temperaturas médias (vazio entre as barras cinza escuro), médias das máximas e médias das mínimas (limite superior e inferior das barras em cinza escuro), máximas e mínimas mensais (limite superior e inferior das barras em cinza intermediário) e área de conforto pelo modelo adaptativo (faixa cinza claro) na cidade de Recife, PE.....	82
Gráfico 44- Taxa de radiação solar incidente [W/m ²] h, em Teresina/PI.	82
Gráfico 45- Frequência de amplitude térmica diária na cidade de Recife/PE....	83
Gráfico 46- Maiores e menores amplitudes térmicas diárias registradas em cada mês do ano na cidade de Recife/PE.	83
Gráfico 47- Maiores e menores amplitudes térmicas diárias registradas em cada mês do ano na cidade de Recife/PE.	84
Gráfico 48- Umidade relativa do ar ao longo do ano na cidade de Teresina, PI.	84
Gráfico 49- Padrão de ocupação dos dormitórios [%] para dias de semana e final de semana.	90
Gráfico 50- Padrão de ocupação da sala [%] para dias de semana e final de semana.	90
Gráfico 51- Padrão de uso da iluminação nos dormitórios [%] para dias de semana e final de semana.	91
Gráfico 52- Padrão de uso da iluminação na sala [%] para dias de semana e final de semana.	91
Gráfico 53- Padrão de abertura permitida para as janelas [%] para o modelo naturalmente ventilado. Somente em condições que a temperatura interna supera 24°C e que a mesma esteja acima da temperatura do ar externo.	93
Gráfico 54- Padrão de abertura permitida para as portas internas [%] para o modelo naturalmente ventilado. Somente em condições que a temperatura interna supera 24°C e que a mesma esteja acima da temperatura do ar externo.	94
Gráfico 55- Padrão de abertura das janelas [%] e de utilização de ar-condicionado para o modelo com condicionamento térmico misto.	95
Gráfico 56- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano no dormitório sul em Curitiba/PR.	106
Gráfico 57- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano no dormitório norte em Curitiba/PR.	107

Gráfico 58- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano na sala/cozinha em Curitiba/PR.	108
Gráfico 59- Consumo energético total para aquecimento e resfriamento durante o ano na HIS em Curitiba/PR.	109
Gráfico 60- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano no dormitório sul em Santa Maria/RS.	110
Gráfico 61- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano no dormitório norte em Santa Maria/RS.	111
Gráfico 62 - Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano na sala/cozinha em Santa Maria/RS.	111
Gráfico 63- Consumo energético total para aquecimento e resfriamento durante o ano na HIS em Santa Maria/RS.	112
Gráfico 64- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano no dormitório sul em São Paulo/SP.	114
Gráfico 65- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano no dormitório norte em São Paulo/SP.	115
Gráfico 66- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano na sala/cozinha em São Paulo/SP.	115
Gráfico 67- Consumo energético total para aquecimento e resfriamento durante o ano na HIS em São Paulo/SP.	116
Gráfico 68- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano no dormitório sul em Brasília/DF.	118
Gráfico 69- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano no dormitório norte em Brasília/DF.	119
Gráfico 70- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano na sala/cozinha norte em Brasília/DF.	119
Gráfico 71- Consumo energético total para aquecimento e resfriamento durante o ano na HIS em Brasília/DF.	120
Gráfico 72- Frequência de taxa de trocas de ar por hora no dormitório sul e ático para o Caso 4 em Brasília/DF.	121
Gráfico 73 – Trocas de ar no dormitório sul e ático e temperaturas do ar no dormitório sul e externo para o Caso 4 em Brasília/DF.	122
Gráfico 74- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano no dormitório sul em Vitória da Conquista/BA.	123
Gráfico 75- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano no dormitório norte em Vitória da Conquista/BA.	124
Gráfico 76- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano no dormitório norte em Vitória da Conquista/BA.	124
Gráfico 77- Consumo energético total para aquecimento e resfriamento durante o ano na HIS em Vitória da Conquista/BA.	125
Gráfico 78- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano no dormitório sul em Campo Grande/MS.	127
Gráfico 79- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano no dormitório norte em Campo Grande/MS.	128

Gráfico 80- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano na sala/cozinha em Campo Grande/MS.	128
Gráfico 81- Consumo energético total para aquecimento e resfriamento durante o ano na HIS em Campo Grande/MS.	129
Gráfico 82- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano no dormitório sul em Teresina/PI.	131
Gráfico 83- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano no dormitório norte em Teresina/PI.	132
Gráfico 84- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano na sala/cozinha em Teresina/PI.	133
Gráfico 85- Consumo energético total para aquecimento e resfriamento durante o ano na HIS em Teresina/PI.	133
Gráfico 86- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano no dormitório sul em Recife/PE.	135
Gráfico 87- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano no dormitório norte em Recife/PE.	136
Gráfico 88- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano na sala/cozinha em Recife/PE.	136
Gráfico 89 - Consumo energético para aquecimento e resfriamento durante o ano na HIS em Recife/PE.	137

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Quadro síntese da estrutura da dissertação.	26
Quadro 2- A história do desenvolvimento dos materiais isolantes térmicos.....	28
Quadro 3- Espessura ideal da camada de isolante térmico em função do ciclo de vida e o período de retorno financeiro.	32
Quadro 4- Impacto na eficiência energética para as vedações estudadas.....	35
Quadro 5- Configurações de envoltória dos casos estudados por Westphal, Yamakawa e Castro (2011).....	42
Quadro 6- Características das vedações definidas para a simulação.....	43
Quadro 7- Tipos de vedações externas para cada zona bioclimática brasileira segundo a NBR 15220.	48
Quadro 8- Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa segundo a NBR 15220.	48
Quadro 9- Limites de transmitância térmica de paredes externas segundo a NBR 15575.	49
Quadro 10- Critérios de cobertura quanto à transmitância térmica.....	49
Quadro 11 – Síntese das condições climáticas de cada cidade analisada.....	85
Quadro 12- Densidade de potência instalada de iluminação, cargas internas de equipamentos e taxas metabólicas para cada atividade adotadas para os dormitórios e a sala.	92
Quadro 13- Casos simulados.	97
Quadro 14- Propriedades físicas dos materiais empregados no modelo.	101
Quadro 15- Propriedades físicas do vidro empregado no modelo.	102
Quadro 16 - Propriedades físicas das paredes empregadas no modelo.	102
Quadro 17- Propriedades físicas das coberturas empregadas no modelo.....	102
Quadro 18 – Composição das paredes.	103
Quadro 19 – Composição dos tetos.	103
Quadro 20 – Composição dos telhados.....	103
Quadro 21– Desempenho do modelo sob cada uma das configurações quanto a conforto e eficiência energética. Quanto mais clara a cor do preenchimento, melhor o desempenho.	109
Quadro 22– Desempenho do modelo sob cada uma das configurações quanto a conforto e eficiência energética. Quanto mais clara a cor do preenchimento, melhor o desempenho.	113
Quadro 23– Desempenho do modelo sob cada uma das configurações quanto a conforto e eficiência energética. Quanto mais clara a cor do preenchimento, melhor o desempenho.	117
Quadro 24– Desempenho do modelo sob cada uma das configurações quanto a conforto e eficiência energética. Quanto mais clara a cor do preenchimento, melhor o desempenho.	121
Quadro 25– Desempenho do modelo sob cada uma das configurações quanto a conforto e eficiência energética. Quanto mais clara a cor do preenchimento, melhor o desempenho.	126

Quadro 26– Desempenho do modelo sob cada uma das configurações quanto a conforto e eficiência energética. Quanto mais clara a cor do preenchimento, melhor o desempenho.	130
Quadro 27– Desempenho do modelo sob cada uma das configurações quanto a conforto e eficiência energética. Quanto mais clara a cor do preenchimento, melhor o desempenho.	134
Quadro 28– Desempenho do modelo sob cada uma das configurações quanto a conforto e eficiência energética. Quanto mais clara a cor do preenchimento, melhor o desempenho.	138
Quadro 29– Desempenho do modelo sob cada uma das configurações quanto a conforto térmico no dormitório sul em cada uma das zonas bioclimáticas. Quanto mais clara a cor do preenchimento, melhor o desempenho.	145
Quadro 30– Desempenho do modelo sob cada uma das configurações quanto a eficiência energética no dormitório sul em cada uma das zonas bioclimáticas. Quanto mais clara a cor do preenchimento, melhor o desempenho.	146

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACT - *Active*

ASHRAE - *American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc.*

COP- *Coefficient of Performance*

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

EPS – Poliestireno Expandido

EPW - *EnergyPlus Weather File*

ETI – *External Thermal Insulation*

HIS - Habitação de Interesse Social

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*

ITI - *Internal Thermal Insulation*

LABEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

NBR - Norma Técnica Brasileira

NO – *Not Insulated*

PAS – *Passive*

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PUF - Espuma de Poliuretano

RTQ-R - Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais

SEAD - *Super-efficient Equipment and Appliance Deployment.*

UCLA - *University of California*

WWR – *Window to Wall Ratio*

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	21
1.1	PROBLEMATIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA	21
1.2	OBJETIVOS	23
1.2.1	Objetivo geral.....	23
1.2.2	Objetivo Específico.....	23
1.3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	23
1.4	ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	25
2	REVISÃO BIBLIGRÁFICA	27
2.1	A UTILIZAÇÃO DE ISOLAMENTO TÉRMICO AO LONGO DA HISTÓRIA HUMANA	27
2.2	ESTUDOS RECENTES SOBRE O COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES COM O USO DE ISOLANTES TÉRMICOS	29
2.2.1	Síntese dos estudos recentes sobre o comportamento térmico de edificações com o uso de isolantes térmicos	44
2.3	NORMAS VIGENTES NO BRASIL E O USO DE ISOLANTES TÉRMICOS	47
2.4	SÍNTESE BIBLIOGRÁFICA	50
3	MÉTODO PARA A ELABORAÇÃO DO ESTUDO DE CASO.....	51
3.1	CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA	51
3.1.1	Curitiba (zona bioclimática 1).....	53
3.1.2	Santa Maria (zona bioclimática 2).....	57
3.1.3	São Paulo (zona bioclimática 3).....	61
3.1.4	Brasília (zona bioclimática 4)	65
3.1.5	Vitória da Conquista (zona bioclimática 5).....	69
3.1.6	Campo Grande (zona bioclimática 6).....	73
3.1.7	Teresina (zona bioclimática 7)	77
3.1.8	Recife (zona bioclimática 8)	81
3.1.9	Síntese da caracterização climática	85
3.2	DEFINIÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL	86
3.2.1	Geometria do modelo	86
3.2.2	Cargas térmicas internas	89
3.2.3	Regime de ventilação para his naturalmente ventilada	92
3.2.4	Regime de ventilação para his em sistema misto de condicionamento térmico	94
3.2.5	Regime de proteção solar em esquadrias.....	95
3.2.6	Casos estudados	96
3.2.7	Configurações de envoltória.....	97
3.2.8	Transferência de calor com o solo.....	100
3.2.9	Materiais construtivos	100
3.2.10	Arquivos climáticos	104

3.3	MÉTODO DE AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS	104
3.3.1	Horas de desconforto por frio e calor.....	104
3.3.2	Consumo enegético	105
4	RESULTADOS	106
4.1	CURITIBA (ZONA BIOCLIMÁTICA 1)	106
4.2	SANTA MARIA (ZONA BIOCLIMÁTICA 2)	110
4.3	SÃO PAULO (ZONA BIOCLIMÁTICA 3).....	114
4.4	BRASÍLIA (ZONA BIOCLIMÁTICA 4).....	118
4.5	VITÓRIA DA CONQUISTA (ZONA BIOCLIMÁTICA 5)	123
4.6	CAMPO GRANDE (ZONA BIOCLIMÁTICA 6)	127
4.7	TERESINA (ZONA BIOCLIMÁTICA 7).....	131
4.8	RECIFE (ZONA BIOCLIMÁTICA 8)	135
4.9	SÍNTESE DOS RESULTADOS	139
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	147
5.1	POTENCIALIDADES DO TRABALHO.....	147
5.2	DIFICULDADES ENCONTRADAS	148
5.3	RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	148
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	149
	APÊNDICE A	153
	APÊNDICE B	154

1 INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMATIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA

A atividade humana vem contribuindo para as recentes mudanças climáticas, principalmente devido à emissão de gases que provocam o efeito estufa, gerando no período que se estende de 1880 a 2012, um aumento médio de 0,85°C na temperatura global (IPCC, 2014).

Os gases de efeito estufa, em sua maioria, são provenientes da geração de energia, principalmente a partir de combustíveis fósseis.

Apesar de ser predominante o uso de fontes “limpas” de energia para a obtenção de eletricidade, tal como a hidráulica, o Brasil, segundo EPE (2014), nos últimos anos vem aumentando o uso de fontes com maior emissão de gases de efeito estufa, tal como derivados do petróleo, para a obtenção de eletricidade.

Edificações residenciais são hoje responsáveis por 27% do consumo energético no Brasil (EPE, 2014) e este porcentual vem crescendo nos últimos anos, em parte por causa da utilização de aparelhos de ar condicionado.

Tal tipo de aparelho era responsável, em 2005, por 20% do consumo médio de energia em residências no Brasil (ELETROBRÁS, 2009). No ano de 2010 estimava-se que 20% das residências possuíam o equipamento, e que esse número chegaria a 24% das residências até 2019 (EPE, 2010).

O Brasil é um dos maiores consumidores mundiais de aparelhos de ar condicionado, ocupando, segundo a SEAD (2013), a 5ª colocação no ranking de maiores compradores do equipamento.

Fenômenos como as ondas de calor, observadas em diversas partes do mundo, inclusive no Brasil nos últimos anos, assim como a formação de ilhas de calor em áreas densamente urbanizadas, provocam uma demanda ainda maior do uso de ar condicionado (SANTAMOURIS et al., 2007).

A atual crise energética no país, que contribui para os últimos aumentos de tarifa, revela a necessidade de ampliar os estudos quanto à eficiência energética na construção civil, principalmente em habitações de interesse social (HIS), uma vez que a ineficiência das edificações residenciais das famílias mais pobres provocam altos gastos em energia, comprometendo grande parte da renda da população (GELLER, 2003).

Há estudos, segundo Santamouris et al. (2007), que comparam as rendas familiares com seus gastos com energia, e quando mais de 10%

da renda de uma família é comprometida com energia, a mesma pode ser caracterizada como pobre energeticamente. Quando excede 20% da renda, a família pode ser classificada como severamente pobre energeticamente.

A negligência de fatores relacionados às qualidades térmicas das HIS faz com que seja imprescindível o uso de aparelhos de ar condicionado, aumentando o número de famílias classificadas como pobres e severamente pobres energeticamente. A economia na construção das edificações nem sempre é um fator favorável a longo prazo, principalmente em relação ao custo de manutenção.

Uma alternativa ao uso de condicionamento artificial do ar, ou sua redução, seria a adoção de estratégias projetuais que promovam condições térmicas nos interiores das HIS capazes de gerar ao usuário, na maior parte do tempo possível, conforto térmico.

O uso de isolantes térmicos pode reduzir de forma bastante eficaz o ganho e a perda de calor de um dado ambiente interno para o meio externo. Desta forma, contribui, em alguns casos, para a obtenção de edificações mais eficientes do ponto de vista energético, quando associadas a ambientes artificialmente condicionados, e promovendo maior conforto térmico aos seus ocupantes.

Na maioria das nações europeias, nas últimas três décadas, houve a introdução compulsória de isolantes térmicos na construção civil e isto os tornaram as maiores ferramentas para a melhoria do desempenho energético em edificações (Papadopoulos, 2004).

No Brasil, ainda existe certa resistência na utilização de isolantes térmicos, seja por questões culturais, financeiras, ou devido à falta de mão de obra qualificada. Mas estudos como o de Linczuk (2015) e Oliveira et. al. (2010) mostram que há potencial em sua utilização, especialmente em regiões mais frias do país.

Associados a diversos tipos de vedação, os isolantes são parte do complexo dos elementos que formam a envoltória, e devem ser avaliados como parte integral do projeto e construção de um edifício. A aceitação de um isolante térmico depende da adaptabilidade aos meios construtivos e tradições nacionais, regionais ou locais (Papadopoulos, 2004).

Uma vez que não se sabe exatamente o impacto do uso de isolantes térmicos na construção civil brasileira, torna-se relevante o seu estudo nas diversas zonas bioclimáticas do país. Propõem-se, sobretudo, como já exposta a necessidade, a pesquisa do comportamento térmico e de eficiência energética de Habitações de Interesse Social, utilizando o

material associado à alvenaria, uma vez que o sistema construtivo é um dos mais utilizados no país para tais fins.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral da pesquisa é identificar o impacto do uso de isolante térmico nas condições térmicas internas em Habitações de Interesse Social em alvenaria nas diferentes condições climáticas brasileiras.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para que seja atingido o objetivo geral, é necessário que os objetivos específicos, listados abaixo, sejam alcançados:

1. Identificar, por meio de revisão bibliográfica, condicionantes climáticas, construtivas, ou de uso, nas quais o isolamento térmico é benéfico às condições térmicas internas de edificações;
2. Avaliar o conforto térmico de uma Habitação de Interesse Social em alvenaria naturalmente ventilada, com e sem isolamento térmico em diferentes condições climáticas brasileiras por meio de simulações computacionais;
3. Avaliar o impacto do isolamento térmico no consumo energético de uma Habitação de Interesse Social em alvenaria, com e sem isolamento térmico em diferentes condições climáticas brasileiras por meio de simulações computacionais.

1.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos adotados nesta pesquisa se configuram em etapas que foram executadas em sequência (Figura 1).

Primeiramente, foi feita uma revisão bibliográfica a fim de expor um breve histórico da utilização de isolantes térmicos, de explorar o estado da arte no que se refere ao estudo do material e apresentar uma análise crítica das normativas nacionais quanto à sua utilização. A partir disso, são apresentadas condicionantes climáticas, construtivas, ou de uso, nas quais o isolamento térmico pode ser benéfico às condições térmicas internas de edificações.

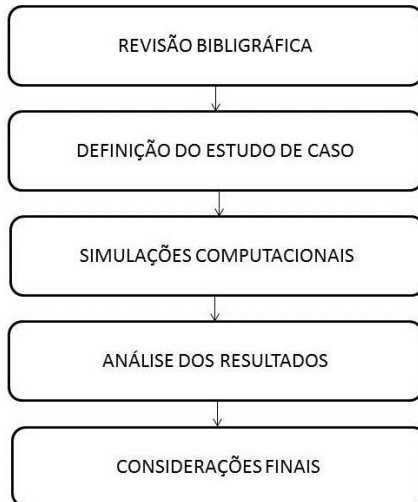
A definição de estudos de caso foi realizada com o intuito de gerar um modelo virtual a ser simulado nas oito zonas bioclimáticas brasileiras por meio do software EnergyPlus 8.1 (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2014).

Posteriormente foram feitas as simulações computacionais do modelo naturalmente ventilado, ou com sistema híbrido de condicionamento térmico (ventilação natural e ar condicionado) sob diferentes configurações de envoltória, na qual foi feita a variação quanto à utilização ou não de isolamento térmico, assim como de posicionamento do material.

A partir dos dados obtidos na etapa anterior, foi realizada a análise dos resultados com o intuito de identificar o impacto do isolamento térmico no consumo energético e na porcentagem de horas de conforto térmico da HIS sob diferentes configurações de envoltórias,

Por fim foram feitas as considerações finais, objetivando apresentar, de forma sucinta, o impacto no uso do isolante térmico em HIS nas condições climáticas brasileiras.

Figura 1 – Procedimentos metodológicos.



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

1.4 ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Com o intuito de organizar os conteúdos da pesquisa, o presente trabalho é estruturado em seis capítulos.

No primeiro capítulo é feita a introdução na qual é apresentado um panorama geral da pesquisa, incluindo a problematização, justificativa, os objetivos geral e específicos e os procedimentos metodológicos.

No segundo capítulo apresenta-se a revisão bibliográfica na qual são expostos um breve histórico da utilização de isolantes térmicos em edificações, estudos feitos por acadêmicos sobre o assunto em diversos locais ao redor do mundo, assim como uma análise das normas vigentes no Brasil e do como as mesmas relatam a necessidade, ou não, do uso do material no país.

O terceiro capítulo é composto pelo método para a elaboração do estudo de caso, no qual são feitas as definições do modelo computacional a ser simulado, assim como uma caracterização climática dos locais simulados.

No quarto capítulo são descritos e analisados os resultados obtidos por meio das simulações computacionais.

Por fim, o quinto e último capítulo apresenta as reflexões críticas sobre a utilização de isolante térmico nas diferentes condições climáticas brasileiras, assim como as potencialidades e dificuldades encontradas; e recomendações para futuros trabalhos.

O quadro a seguir (Quadro 1) sintetiza os conteúdos e finalidades de cada capítulo.

Quadro 1- Quadro síntese da estrutura da dissertação.

Capítulo	Conteúdo	Finalidade
Introdução	Apresentação da dissertação.	Explicitar a problemática, delimitação, objetivos e justificativa da pesquisa. Demonstrar, sucintamente, os procedimentos e métodos utilizados no desenvolvimento da pesquisa.
Revisão bibliográfica	Fundamentação teórica	Apresentar resumidamente como isolantes térmicos vem sendo utilizados ao longo da história, na atualidade e de como as normas brasileiras os abordam.
Método para a elaboração do estudo de caso	Descrição do modelo e dos procedimentos para a simulação computacional.	Estabelecer os parâmetros adotados na simulação computacional.
Resultados	Descrição e análise crítica dos resultados obtidos por meio das simulações computacionais.	Responder aos objetivos específicos. Descrever e analisar o impacto da utilização de isolantes térmicos nas diferentes zonas bioclimáticas brasileiras das.
Considerações finais	Reflexão crítica sobre a utilização de isolante térmico nos diferentes climas brasileiros, assim como as potencialidades e dificuldades encontradas, e recomendações para futuros trabalhos.	Refletir acerca da utilização de isolante térmico nos diferentes climas brasileiros. Avaliar o caminho da pesquisa e fazer recomendações para pesquisas futuras.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A UTILIZAÇÃO DE ISOLAMENTO TÉRMICO AO LONGO DA HISTÓRIA HUMANA

Isolantes térmicos são materiais dotados de alta resistência térmica, que têm como função, em edificações, reduzir ao máximo a troca de calor entre ambientes.

Desde que o Homem deixou o estilo de vida nômade, o mesmo procurou, por meio de edificações, proteger-se contra as intempéries, sendo desta forma um dos mais importantes requisitos, o adequado isolamento térmico da construção (BYNUM, 2001).

Ao longo da história, o ser humano utilizou diversos materiais para cumprirem tal função (Quadro 2). Materiais como palha, junco e algas, eram utilizados sejam em paredes, usualmente de forma misturada à terra ou argila, por antigos habitantes do norte da África, ou em coberturas por culturas antigas do norte da Europa (BOZSAKY, 2010).

A partir da revolução industrial, e com a mudança de sistema construtivo, houve a necessidade de utilizar novos materiais para o isolamento de edificações (separação do isolante térmico do sistema construtivo), uma vez que o aço, o ferro fundido e o concreto apresentavam pouca resistência térmica, se comparado com sistemas construtivos utilizados anteriormente (BYNUM, 2001).

Primeiramente, foram industrializados materiais naturais como a cortiça e o junco, de forma a facilitar a aplicação do material em edificações. Posteriormente foram sendo desenvolvidos materiais artificiais, mais resistentes à insetos e umidade como a lã de vidro, a lã de rocha, poliestireno e o poliuretano (BOZSAKY, 2010).

Após a década de 1970, devido a crise do petróleo, houve a necessidade de se repensar o desempenho térmico das edificações, uma vez que o custo da energia disparou, acarretando na introdução compulsória de isolantes térmicos em edifícios na maioria das nações europeias no intuito de aumentar a eficiência energética dos mesmos (PAPADOPOULOS, 2004).

Quadro 2- A história do desenvolvimento dos materiais isolantes térmicos.

Período de tempo	Motivo da mudança	Mudança	Material isolante
2.5 milhões a 7000 a.C.	Estilo de vida Nomade	Materiais para vestimentas	Peles de animais e lã
7000 a.C. a 1870 d.C.	Estilo de vida sedentário	Materiais duráveis e fibras vegetais em edificações	Terra, madeira, tijolos, palha, algas, junco
1870 a 1950	Revolução industrial	Primeiros isolantes térmicos naturais industrializados	Placas de junco, cortiça, linho e celulose; lã de madeira.
		Desenvolvimento de elementos da alvenaria	Tijolos preenchidos com cinzas, tijolos perfurados
		Primeiros isolantes térmicos artificiais	Asbestos, lã de vidro, fibra de vidro, espuma de vidro, isolante de escória, argila expandida e perlita
1950 a 2000	Propagação do plástico	Propagação de materiais artificiais Aparição das espumas plásticas Quase desaparecimento de materiais naturais	Poliestireno, poliuretano, poliéster, polietileno, fenólicos, formaldeídos e melanina.
a partir de 2000	Esgotamento de combustíveis fósseis Alta emissão de CO ² Aquecimento Global	Reaparecimento dos materiais naturais	Isolantes de celulose, cortiça, palha, lã de madeira, lã de carneiro
		Experimentos com novos materiais	Isolantes térmicos transparentes, alternáveis, nanocelulares, painéis de isolamento a vácuo

Fonte: Bozsaky (2010).

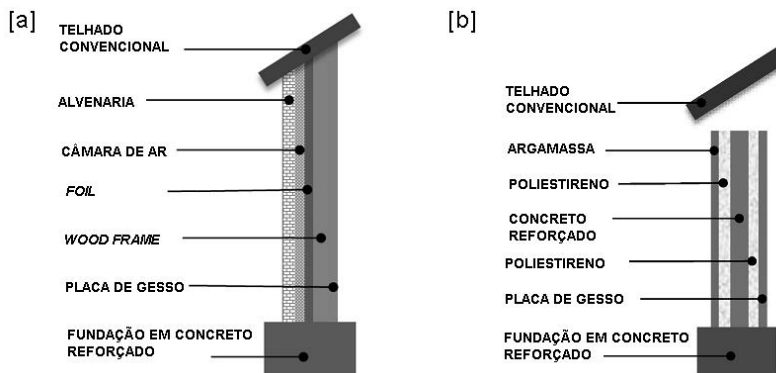
2.2 ESTUDOS RECENTES SOBRE O COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES COM O USO DE ISOLANTES TÉRMICOS

Em diversos países do mundo, e em diversos climas, inclusive em condições semelhantes às brasileiras, vêm-se estudando os efeitos da utilização de isolantes térmicos em edificações (ALDAWI et al., 2013; BOJIĆ; MILETIĆ; BOJIĆ, 2014; BRITO; OLIVEIRA, 2014; CHIRARATTANANON; DUC HIENC; TUMMUA, 2012; CHVATAL; MALDONADO; CORVACHO, 2004; DONGMEI et al., 2012; FRIESS et al., 2012; KOLAITIS et al., 2013; KUMAR; SUMAN, 2013; NYERS et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2010; WESTPHAL; YAMAKAWA; CASTRO, 2011; ZHU; HUCKEMANNA; NORBERG, 2011).

Na maior parte destes estudos têm-se comprovado seus benefícios, seja para a obtenção de condições térmicas mais confortáveis em edificações naturalmente ventiladas, ou pela eficiência energética adquirida em edificações providas de condicionamento artificial do ar.

Aldawi et al. (2013) discorrem sobre a simulação do comportamento térmico e eficiência energética no período de um ano de um novo tipo de parede desenvolvido por eles, na qual estão incorporadas duas camadas de isolante térmico. A fim de comparar o desempenho, foram simuladas por meio do software AccuRate, em uma habitação de tipologia comum na Austrália, tanto a parede padrão como a nova parede proposta, dotada de menor transmitância (Figura 2), em 12 diferentes cidades australianas. O efeito do uso do vidro duplo com câmara de ar também foi avaliado.

Figura 2- Configurações de parede convencional (a) e parede proposta (b).



Fonte: Aldawi et. al. (2013).

Os resultados demonstraram que o novo tipo de parede proposta, quando disposto o vidro simples nas esquadrias, gera uma economia de energia para aquecimento e resfriamento entre 22% (Brisbane) e 44% (Adelaide). Quando simulado com vidro duplo em conjunto com o novo tipo de parede proposto é gerada uma economia entre 1% (Brisbane) a 37% (Melbourne) de energia para os mesmos fins. Sendo assim, apesar do maior custo total para sua construção, o novo sistema pôde gerar o retorno financeiro em 6 anos, se considerada a economia em energia elétrica, ou até 13 anos, se considerada a fonte de energia como gás natural.

Zhu, Huckemanna e Norberg (2011) buscaram determinar a espessura ideal (responsável pelo menor consumo de energia para aquecimento e resfriamento) para a camada de dois diferentes materiais de isolamento em uma parede de concreto com acabamento em argamassa (Figura 3) em cinco diferentes climas da China, por meio de equações matemáticas.

Figura 3- Configuração de parede estudada e espessuras ideais de isolante térmico para diferentes climas chineses.

EXTERIOR				
PAREDE EXTERNA		CIDADE	EPS	XPS
INTERIOR 20 mm ARGAMASSA X mm ISOLANTE TÉRMICO 200 mm BLOCO DE CONCRETO 20 mm ARGAMASSA		Urumqi	175mm	103mm
		Beijing	216mm	128mm
		Shanghai	205mm	121mm
		Guangzhou	116mm	68mm
		Kunming	163mm	96mm

Fonte: Zhu et al. (2011).

Os cálculos possibilitaram concluir que em todos os climas chineses analisados a espessura de isolamento requerida do EPS - Poliestireno Expandido (de 116 à 216 mm) foi maior do que a requerida pelo XPS – Poliestireno Extrudado (68 à 128 mm), e que nas cidades de Xangai e Pequim, de climas mais frios, são necessárias maiores espessuras, e em Guangzhou, de clima mais quente e úmido, as menores espessuras, independente do material empregado.

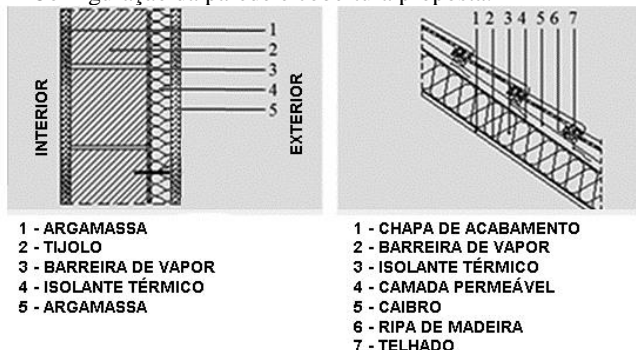
Dongmei et al. (2012) estudaram os efeitos do isolamento térmico em um edifício de uso público com paredes em concreto de 15 cm. Seus estudos compreendem diferentes espessuras do isolante, assim como seu efeito no consumo de energia para o resfriamento e aquecimento, considerando o clima de três cidades chinesas. Foram utilizados cálculos matemáticos e simulações no software *EnergyPlus*.

Foi concluído que o isolamento, aplicado em maiores espessuras nas quatro fachadas, ajudou a diminuir o consumo de energia em Pequim. Já na cidade de Xangai, o mesmo ajudou na diminuição do consumo de energia quando aplicado nas paredes externas, com exceção àquelas orientadas para sul, que demandaram menores espessuras de isolamento. Por outro lado, em Guangzhou, cidade de clima mais quente, o consumo anual de energia só pôde ser reduzido quando utilizado o isolante térmico em pequenas espessuras e quando considerado um sistema mais eficiente de ar condicionado.

Bojić, Miletić e Bojić (2014) buscaram estipular, por meio de simulações no *EnergyPlus* e equações matemáticas, o material de isolamento térmico e sua espessura ideal para edificações residenciais nas condições climáticas de Kragujevac, na Sérvia (inverno frio e verão quente). Foram levadas em consideração o total da energia primária utilizada para o aquecimento e a energia embutida no isolamento térmico.

Foi considerada, para este estudo, uma edificação habitacional de 52 m² de área e com paredes compostas de argamassa externa, isolante térmico, barreira de vapor, camada de tijolos e argamassa interna; assim como cobertura composta de telhas, ripas de madeira, camada permeável, isolante térmico, barreira de vapor, e acabamento (Figura 4).

Figura 4 - Configuração da parede e cobertura proposta.



Fonte: Bojić et al. (2014).

Os resultados (Quadro 3) mostraram que o mais baixo consumo de energia primária e o retorno financeiro mais rápido é obtido com o uso da lã mineral, porém este material exige grandes espessuras para um isolamento ideal, tornando o seu uso em edificações pouco aplicável se comparado com o poliestireno.

Quadro 3- Espessura ideal da camada de isolante térmico em função do ciclo de vida e o período de retorno financeiro.

Ciclo de vida [anos]	Lã Mineral		Poliestireno	
	Espessura ideal da camada de isolante [m]	Período de retorno financeiro [anos]	Espessura ideal da camada de isolante [m]	Período de retorno financeiro [anos]
5	0,45	0,84	0,20	3,18
10	0,64	1,10	0,29	3,20
20	0,92	1,53	0,41	3,82
50	1,69	2,70	0,61	5,21

Fonte: Bojić et al. (2014).

Kumar e Suman (2013) procuraram determinar o impacto na eficiência energética de edificações com o uso de diferentes isolantes térmicos (*elastospray*, espuma de Poliuretano - PUF, Poliestireno expandido - EPS, fibra de vidro e espuma de concreto) em espessuras ideais, para o clima de Roorkee na Índia (verão quente e seco; inverno frio e úmido). Foram utilizadas equações para determinar as espessuras dos isolantes térmicos e dois protótipos para verificar sua eficácia. Estes modelos foram construídos em alvenaria, com laje de concreto, sem ventilação natural, e um deles composto também por uma camada de isolante térmico na cobertura e nas paredes (Figura 5 e Figura 6).

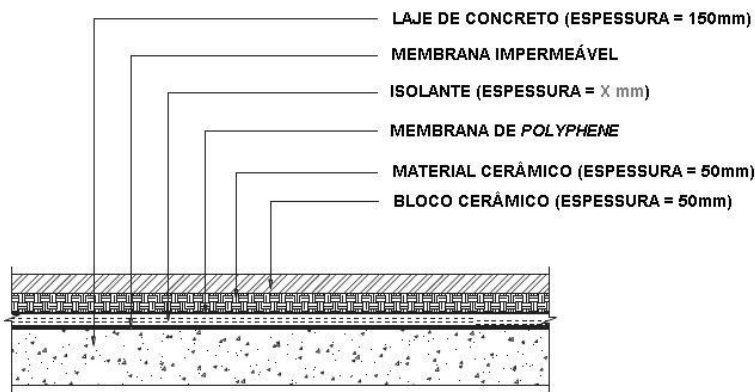
Os resultados indicam que uma camada de 50 a 150 mm de isolante aplicada em uma parede de tijolos convencionais, em conjunto com uma laje de concreto com 120 mm de espessura, com uma camada de 55 mm a 140 mm de isolante térmico, pode propiciar condições satisfatórias ao código de conservação de energia em edificações local (ECBC), dependendo do material isolante utilizado, sendo as menores espessuras requeridas pelo *elastospray* e as maiores espuma de concreto.

Figura 5 - Detalhes da composição construtiva das paredes e da cobertura no protótipo isolado.



Fonte: Kumar e Suman (2013).

Figura 6- Detalhes da composição construtiva das paredes e da cobertura no protótipo isolado.

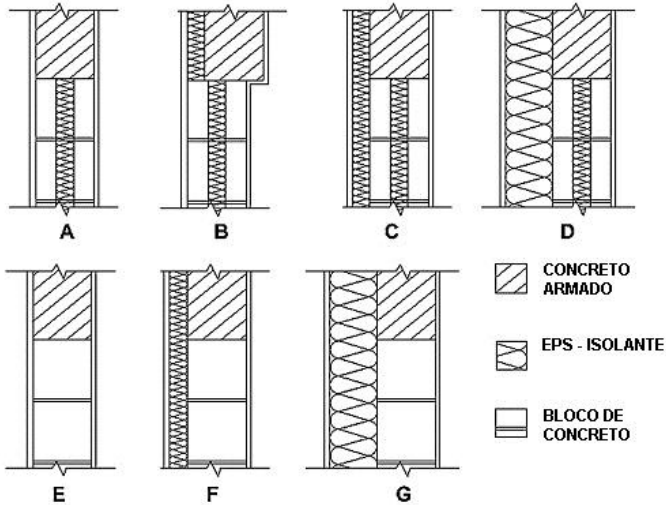


Fonte: Kumar e Suman (2013).

Friess et. al. (2012) investigaram o impacto das pontes térmicas consequentes da estrutura não isolada em paredes com isolamento térmico no consumo energético em edificações, por meio de simulações computacionais no clima de Dubai. Foram simuladas diferentes configurações do envelope externo (Figura 7) aplicados a unidades

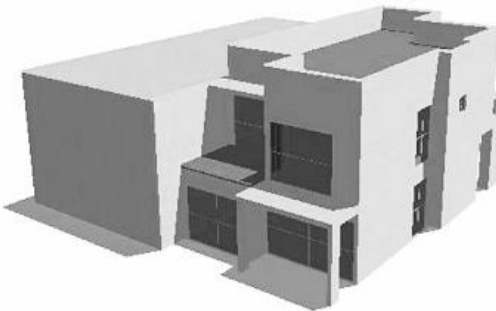
habitacionais (Figura 8) nos softwares DesignBuilder e EnergyPlus, sendo criadas sub superfícies nas áreas onde há pontes térmicas com propriedades diferentes do restante das paredes.

Figura 7- Configurações de paredes estudadas por Friess et. al. (2012).



Fonte: Friess et. al. (2012).

Figura 8- Perspectiva do modelo estudado por Friess et. al. (2012).



Fonte: Friess et. al. (2012).

Os resultados (Quadro 4) indicam que o consumo energético é 24,5% maior na edificação no caso em que há isolamento apenas no bloco de concreto (caso A), se comparada com o caso onde todo o perímetro é isolado (caso C). Já a diferença no consumo energético entre a vedação sem nenhum isolante (caso E) e a com isolamento apenas no bloco de concreto (caso A) é de somente 10,6%. O Caso G, no qual estava incorporada a todo perímetro externo da edificação uma camada de 160 mm de isolante, foi o que possibilitou a maior redução do consumo energético (29,4%). Desta forma observou-se a importância em se isolar o total da envoltória, evitando a ocorrência de pontes térmicas.

Quadro 4- Impacto na eficiência energética para as vedações estudadas.

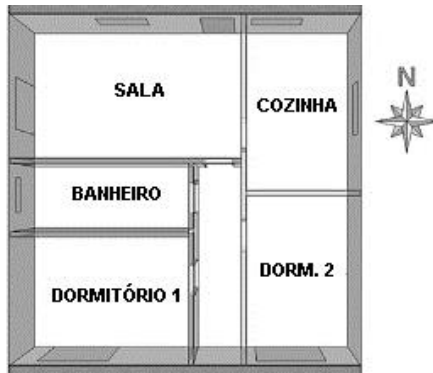
Configuração de parede	Consumo Energético (kwh/m² a)	Mudança de acordo com o caso base (%)
A	205	0
B	161	-23.3
C	158	-24.5
D	148	-29.8
E	220	+10.6
F	161	-22.9
G	149	-29.4

Fonte: Friess et. al. (2012).

Kolaitis et al. (2013) buscaram, por meio de simulações no software TRNSYS comparar a eficiência energética e o custo benefício de três tipos de envelopes externos, nos climas de Kozani e Atenas (Grécia).

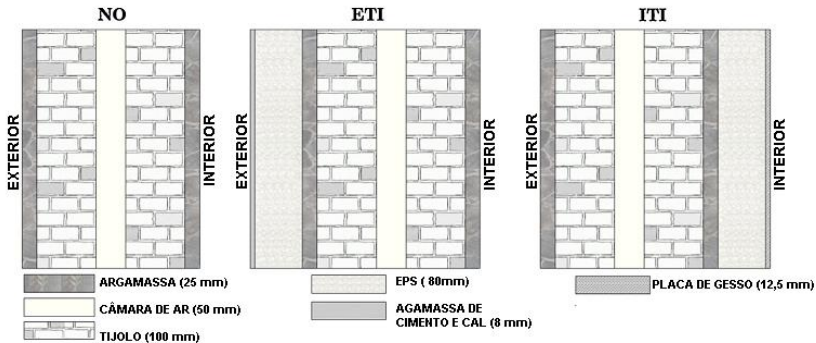
Para esse estudo foi adotada uma edificação habitacional de tipologia comum na Grécia, com cerca de 100m² de área (Figura 9), considerando dois tipos de ocupantes: ACT: ativo (com controle de ventilação e sombreamento de janelas), e PAS: passivo (sem controle de ventilação e sombreamento de janelas). Foram adotadas as seguintes configurações de paredes (Figura 10): ETI (com isolamento térmico na face externa da parede), ITI (com isolamento térmico na face interna da parede) e NO (sem isolamento térmico nas paredes).

Figura 9- Planta da edificação estudada por Kolaitis et. al. (2013).



Fonte: Kolaitis et. al. (2013).

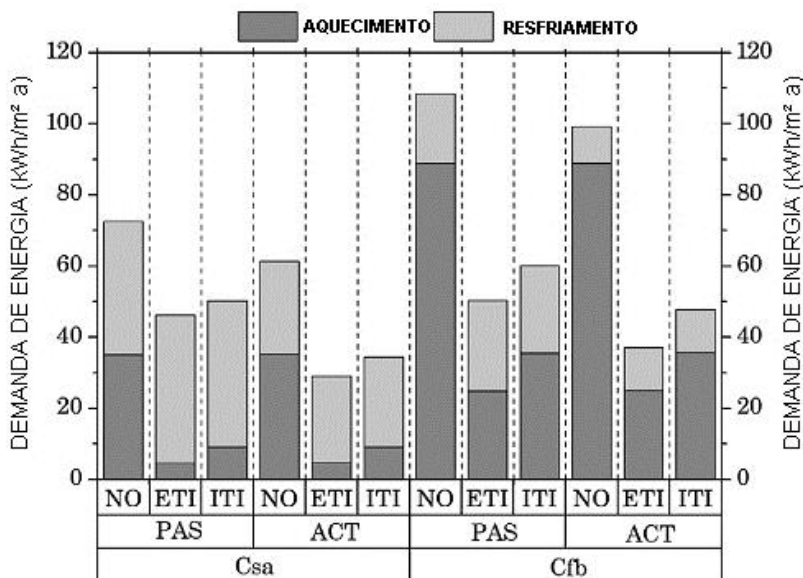
Figura 10- Alternativas de paredes estudadas por Kolaitis et. al. (2013).



Fonte: Kolaitis et. al. (2013).

Os resultados (Figura 11) mostraram que com a opção de parede na qual o isolante térmico (EPS) está localizado no lado externo da edificação obtém-se o menor consumo de energia em ambas as localidades e com os diferentes tipos de ocupantes. Além disso, apesar de o custo de execução do sistema ITI ser mais baixo do que o do ETI, gerando um retorno financeiro do investimento mais rápido, o sistema ITI apresenta o problema de possível presença de condensação nas superfícies internas, o que o torna não tão recomendado.

Figura 11- Demanda de energia em função do tipo de parede, tipo de usuário e localização (Csa-Atenas; Cfb- Kozani).

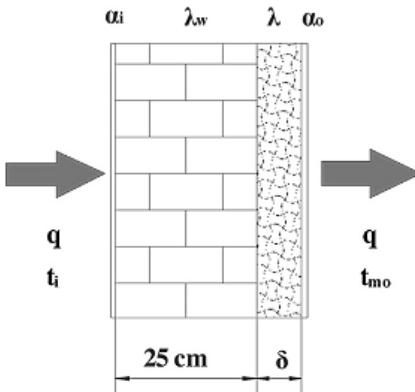


Fonte: Kolaitis et. al.(2013).

Nyers et. al.(2015) buscaram, por meio de cálculos matemáticos, determinar a espessura ideal para a camada de isolamento (poliestireno) em uma parede de 25 cm de tijolo maciço (Figura 12) para o clima de Subótica, Sérvia.

Concluiu-se, ao fim do estudo, que a espessura de 6,89 cm de isolante térmico se provou a ideal para o clima de Subotica, por ter o menor consumo de energia para resfriamento e aquecimento, gerando o mais baixo custo de investimento com relação ao tempo de retorno financeiro.

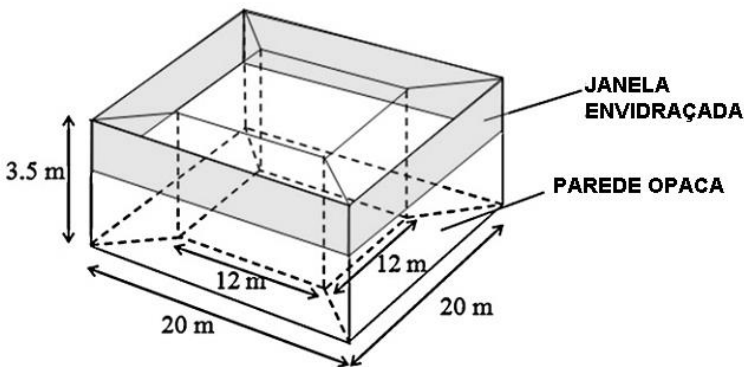
Figura 12 – Corte da parede externa avaliada por Nyers et. al.(2015).



Fonte: Nyers et. al.(2015).

Chirarattananon, Duc Hienc e Tummua (2012) buscaram esclarecer relação custo-eficácia de isolamento térmico para paredes externas em espaços condicionados artificialmente com funções comerciais no clima quente e úmido da Tailândia, por meio de simulações no BESim (software de uso comum naquele país).

Figura 13- Geometria do pavimento intermediário do modelo analisado por Chirarattananon et al. (2012).



Fonte: Chirarattananon et al. (2012).

Para o estudo foi analisada uma edificação (Figura 13) com a variação de uso, podendo ser comercial (grande carga térmica interna) ou habitacional (baixa carga térmica interna), variando as dimensões das superfícies de janelas de 0%, 30% e 60% com relação à área de parede (WWR), assim como as espessuras de isolantes (poliestireno) de 0 mm, 25 mm, 50 mm e 75 mm externo.

Os resultados indicam que o uso de isolamento térmico nas paredes externas não trazem benefícios quando há baixa carga térmica interna (residencial) no clima quente e úmido local. Já para edificações com maior carga térmica interna (comercial), somente para aquelas sem janelas, o uso do mesmo material contribuiu na redução do ganho de calor por meio da envoltória, sendo assim, aquelas que possuem janelas, devido a transmissão direta da radiação solar através das mesmas, diminuiu a eficácia do isolante, reduzindo seu custo-benefício, tornando, assim, desnecessário seu uso.

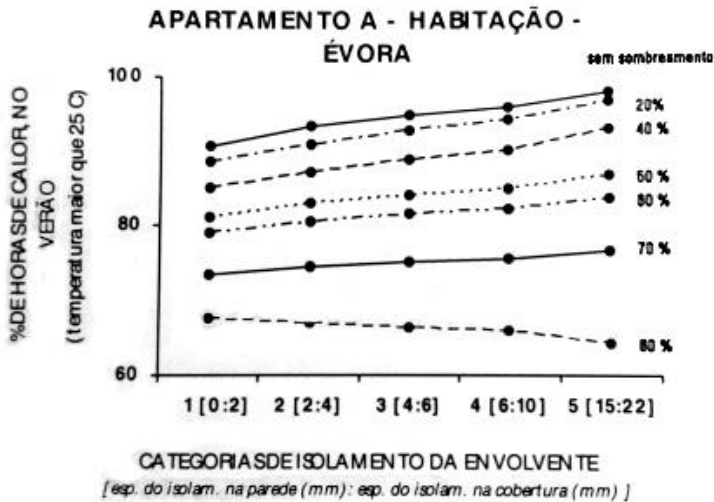
Chvatal, Maldonado e Corvacho (2003) investigaram o impacto do aumento do isolamento térmico da envoltória dos edifícios portugueses em seu desempenho térmico e no consumo de energia anual, por meio de simulações computacionais no *software* TRNSYS em três distintos climas (Porto, Lisboa e Évora).

Para o estudo foram considerados uma habitação unifamiliar e dois apartamentos em edifícios de habitação coletiva (todos em parede dupla de alvenaria), assim como dois tipos de utilização para os mesmos: habitação, com ganhos internos de $5\text{W}/\text{m}^2$, e Serviços (devido ao fato desse tipo de adaptação ser usual em Portugal), com ganho interno de $45\text{W}/\text{m}^2$.

Foram, também, feitas variações de sombreamento das janelas durante o verão, de 0 a 80%, além da variação de espessura de isolante térmico, de 0 a 15 cm.

Os resultados (Figura 14) mostraram que no caso das habitações, o aumento do isolamento somente proporciona maior conforto aos ocupantes quando são evitados altos ganhos solares, por meio do sombreamento, durante o verão. Pode-se verificar, também, que mesmo nos casos em que há acréscimo no número de horas de sobreaquecimento, o conseqüente aumento do consumo para resfriamento não chegou a eliminar a economia obtida no inverno, e desta forma havendo uma redução global no consumo energético.

Figura 14 – Porcentagem de horas de calor (temperaturas acima de 25°C) durante o verão para o apartamento considerado como habitação, em Évora.



Fonte: Chvatal, Maldonado e Corvacho (2003).

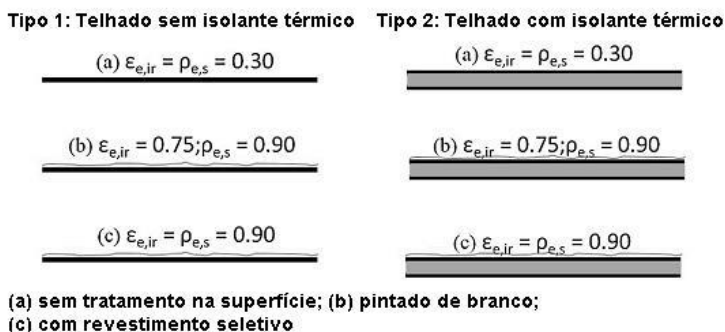
No caso do apartamento utilizado como escritório, o aumento do isolamento acabou por dificultar a dissipação das cargas internas de calor, gerando um aumento do consumo para resfriamento que é suficientemente elevado para eliminar a economia gerada no inverno, o que significou que o isolamento da envolvente, para este caso, não é conveniente e que deve ser reduzido ao mínimo.

Brito e Oliveira (2014) investigaram o fluxo de calor e o efeito térmico da pintura branca, revestimento seletivo e isolante térmico de uma cobertura, nos climas de Curitiba (inverno frio e verão ameno) e Manaus (quente o ano todo), por meio de equações matemáticas. Foram consideradas seis configurações de coberturas de aço galvanizado (Figura 15), sendo elas: superfície sem tratamento, superfície com pintura branca, superfície com revestimento seletivo, superfície sem tratamento com isolante térmico, superfície com pintura branca e isolante térmico, superfície com revestimento seletivo e isolante térmico.

O estudo concluiu que a utilização de isolantes térmicos contribuiu de forma significativa para a redução do fluxo de calor proveniente do

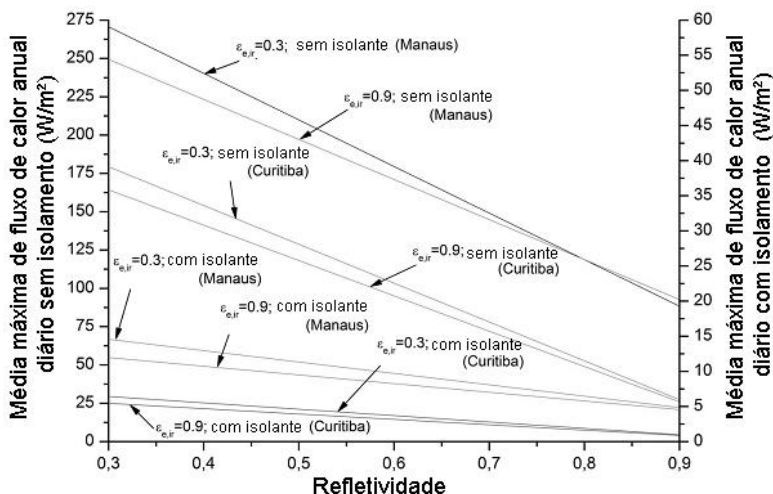
meio externo para o interior do ambiente (Figura 16) e para o aumento de temperatura superficial da cobertura. Este último fenômeno, no entanto, pode ser reduzido drasticamente quando o isolamento térmico for associado ao revestimento seletivo com grande reflexibilidade de superfície na cobertura.

Figura 15 - Configurações da cobertura analisada.



Fonte: Brito e Oliveira (2014).

Figura 16 - Máxima anual do fluxo de calor diário médio da cobertura com e sem isolante térmico em função da reflexibilidade.



Fonte: Brito e Oliveira (2014).

Westphal, Yamakawa e Castro (2011) investigaram, por meio de simulações paramétricas no software EnergyPlus, a utilização de isolante térmico em vedações de edifícios comerciais e seu impacto no consumo de energia. Foram consideradas diversas configurações de edificação, variando tipologias, tipos de parede, cargas térmicas internas, tamanhos de janelas e fator solar dos vidros em três diferentes localidades do Brasil. Dentre os tipos de vedação, foram avaliados a alvenaria e o *steel frame*, somados a camadas de 25 mm, 50 mm e 70 mm de isolante térmico posicionados no lado externo da parede.

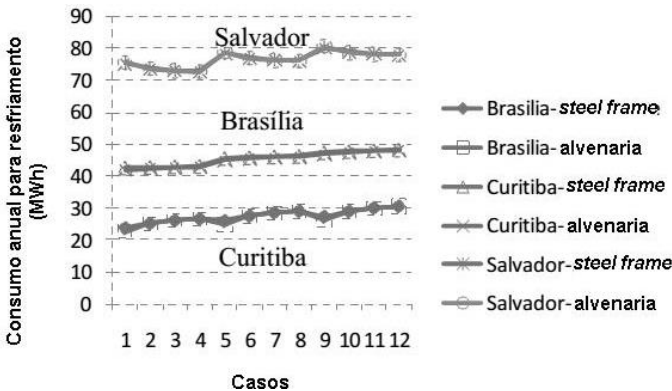
Quadro 5- Configurações de envoltória dos casos estudados por Westphal, Yamakawa e Castro (2011).

	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	Caso 6	Caso 7	Caso 8	Caso 9	Caso 10	Caso 11	Caso 12
Isolante [mm]	0	25	50	75	0	25	50	75	0	25	50	75
Fator solar	0,25	0,25	0,25	0,25	0,3	0,3	0,3	0,3	0,35	0,35	0,35	0,35

Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Os resultados mostraram que não há influência significativa no consumo anual de energia variando a envoltória entre alvenaria e *drywall* (Figura 17), considerando diferentes espessuras de isolante em um edifício de planta quadrada com 36 W/m² de carga térmica interna e pouca área de janela.

Figura 17- Consumo anual de energia para dois tipos de paredes externas: *steel frame* e alvenaria, para cada uma das cidades analisadas.



Fonte: Westphal, Yamakawa e Castro (2011).

Verificou-se, também, que o uso de isolantes térmicos nas paredes exteriores pode ter um efeito negativo para edificações com maior carga térmica interna em locais de clima frio do país, aumentando o consumo de energia para resfriamento, por evitar a dissipação do calor para o meio externo. Já em climas quentes, o consumo de energia para resfriamento pode diminuir com a aplicação de isolantes nas paredes externas para os mesmos tipos de edifícios, impedindo a entrada de calor proveniente do meio externo por meio das vedações.

Oliveira et al. (2010) estudaram as condições de conforto térmico em uma habitação de interesse social com área de 46m² situada no município de Rio Grande, no Rio Grande do Sul, por meio dos softwares *EnergyPlus* e *DESIGNBUILDER*. Foram consideradas quatro diferentes configurações para a edificação (Quadro 6), sendo estas, paredes em madeira de reflorestamento e placa de fibrocimento, e cobertura em telha de fibrocimento, com isolamento térmico em diferentes espessuras.

Quadro 6- Características das vedações definidas para a simulação

Edificação	Paredes externas	Cobertura
Configuração 1	Original (U = 2,459 W/m ² K)	Original (U = 2,470 W/m ² K)
Configuração 2	Com isolamento térmico (manta de lã de vidro 4cm) (U = 0,828 W/m ² K)	Original (U = 2,470 W/m ² K)
Configuração 3	Original (U = 2,459 W/m ² K)	Com isolamento térmico (manta de lã de vidro 4cm) (U = 0,830 W/m ² K)
Configuração 4	Com isolamento térmico (manta de lã de vidro 4cm) (U = 0,828 W/m ² K)	Com isolamento térmico (manta de lã de vidro 4cm) (U = 0,830 W/m ² K)

Fonte: Oliveira et al.(2010).

Foi considerada a ocupação de quatro pessoas, assim como uma carga térmica interna de 14W/m² proveniente da iluminação e de aparelhos elétricos. O *setpoint* de abertura das janelas foi definido à 25°C, ou seja, que as mesmas abrissem assim que a temperatura interna atingisse essa temperatura.

A quarta configuração de edificação, na qual a lã de vidro estava presente tanto nas paredes, quanto na cobertura, foi a que obteve melhores resultados, apresentando 40,9% de horas de conforto no período de um ano, enquanto a terceira apresentou 36,9%, a segunda 34,9% e a primeira 33,9%. Desta forma, os resultados confirmaram os benefícios trazidos pela implementação da lã de vidro, seja na cobertura, seja nas paredes.

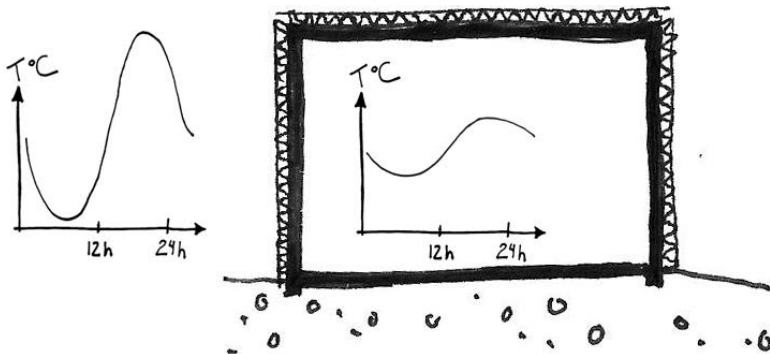
2.2.1 Síntese dos estudos recentes sobre o comportamento térmico de edificações com o uso de isolantes térmicos

Apesar de estudos exporem experiências com diferentes tipos de isolantes e de configurações de envoltórias, pode-se concluir que em grande parte dos climas analisados o uso de isolamento térmico pode ajudar na diminuição do consumo energético e na melhoria das condições térmicas internas das edificações.

Os materiais isolantes podem ser incorporados a diversos sistemas construtivos, em diferentes posicionamentos, orientações e espessuras, sendo sua eficácia na melhoria das condições térmicas de edificações dependentes da escolha correta destas variáveis, de acordo com as condições climáticas ao qual está inserida.

Em locais caracterizados por clima de grande amplitude térmica diária, o uso de isolantes térmicos, tanto em paredes quanto coberturas, auxilia na redução de temperaturas extremas, principalmente quando utilizado junto à materiais com grande capacidade térmica (Figura 18).

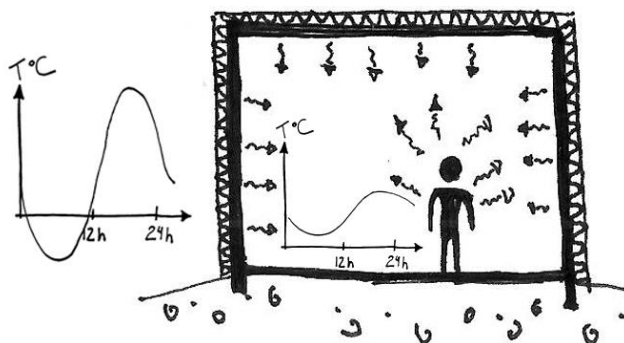
Figura 18 – Corte ilustrativo de edificação com isolante térmico nas paredes e cobertura sob condições climáticas de grande amplitude térmica diária.



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Em locais frios, a utilização de isolamento térmico em toda envoltória se torna favorável, pois ao impedir a perda de calor interno o mesmo proporciona menores condições para a ocorrência de temperaturas mais baixas, reduzindo o consumo energético para aquecimento (Figura 19).

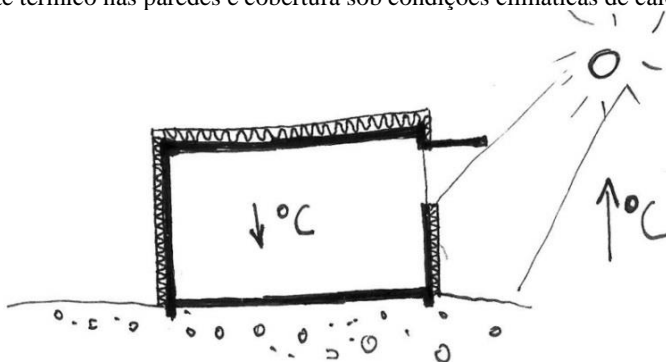
Figura 19 – Corte ilustrativo de edificação com isolante térmico nas paredes e cobertura sob condições climáticas de frio.



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Em climas com as condições opostas, quentes e úmidos (menor amplitude térmica diária), a utilização do isolamento térmico nas paredes pode não ser benéfica do ponto de vista econômico, dependendo dos custos de energia elétrica com climatização e do isolante térmico, quando há uma grande carga de ganho de calor por meio de radiação solar nas aberturas da edificação. No entanto, para o mesmo tipo de clima é possível gerar economia de energia em edificações que apresentam menores ganhos de calor interno ou por meio da radiação solar através de aberturas (Figura 20).

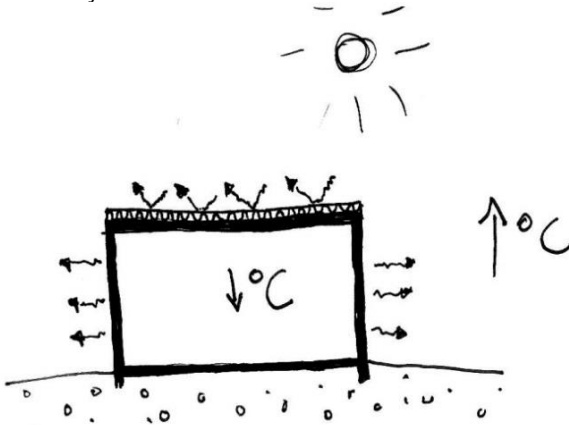
Figura 20 – Corte ilustrativo de edificação com janela protegida e com isolante térmico nas paredes e cobertura sob condições climáticas de calor.



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Quando aplicadas somente na cobertura de edificações em regiões mais quentes e úmidas, o isolante térmico pode contribuir na diminuição de ocorrência de altas temperaturas nos ambientes internos, pois quando assim disposto o material evita ganho excessivo de calor por meio desta superfície, que geralmente é aquela que está mais exposta à radiação solar (Figura 21).

Figura 21– Corte ilustrativo de edificação com isolante térmico somente na cobertura sob condições climáticas de calor.



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Uma desvantagem da utilização de isolantes térmicos é que quando incorporada a uma edificação, as superfícies externas da mesma têm suas temperaturas superficiais elevadas, ao impedir o fluxo de calor para dentro do ambiente, podendo contribuir para o fenômeno de ilha de calor urbano. No entanto, este fenômeno pode ser minimizado com um tratamento correto desta superfície.

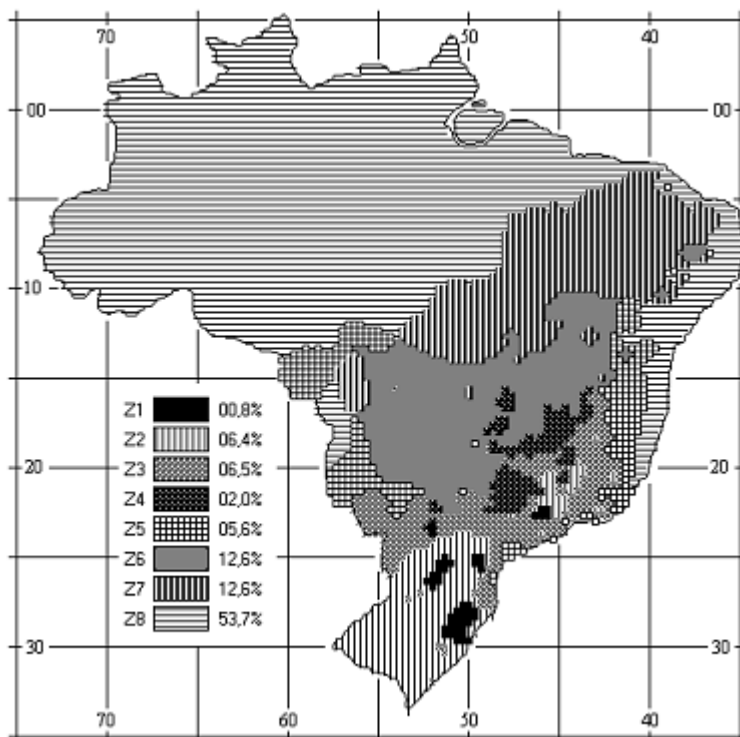
É importante também salientar, que quando usado, o isolamento térmico, deve-se evitar a ocorrência de pontes térmicas, que podem vir a diminuir a eficácia do material.

2.3 NORMAS VIGENTES NO BRASIL E O USO DE ISOLANTES TÉRMICOS

No Brasil, ao contrário do que ocorre na Europa, por exemplo, as normas vigentes não explicitam a necessidade do uso de materiais isolantes em toda envoltória.

A NBR 15220 (ABNT, 2005), intitulada “Desempenho térmico de edificações”, que é dividida em cinco partes, traz em seu terceiro segmento o zoneamento bioclimático brasileiro, assim como recomendações e diretrizes construtivas, sem caráter normativo, para adequação climática de habitações unifamiliares de interesse social em cada uma destas zonas bioclimáticas.

Figura 22 – Zoneamento bioclimático brasileiro segundo a NBR 15220.



Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005).

Este zoneamento segmenta o Brasil em oito diferentes zonas de acordo com as condições climáticas apresentadas em cada uma das partes do país (Figura 22).

Dentre as diretrizes construtivas abordadas na norma, estão as configurações das vedações externas, incluindo tanto paredes quanto coberturas, que são recomendadas para cada uma das zonas bioclimáticas brasileiras (Quadro 7).

Quadro 7– Tipos de vedações externas para cada zona bioclimática brasileira segundo a NBR 15220.

Zona bioclimática	Parede	Cobertura
Zn1	Leve	Leve isolada
Zn2	Leve	Leve isolada
Zn3	Leve refletora	Leve isolada
Zn4	Pesada	Leve isolada
Zn5	Leve refletora	Leve isolada
Zn6	Pesada	Leve isolada
Zn7	Pesada	Pesada
Zn8	Leve refletora	Leve refletora

Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005) adaptado pelo autor.

Estas recomendações são feitas quanto às propriedades físicas dos materiais, como atraso térmico, transmitância térmica e fator solar (Quadro 8).

É possível verificar que em grande parte do país é recomendada a adoção de algum tipo de isolamento térmico junto à cobertura. No entanto, por outro lado, o mesmo material não é recomendado para paredes em nenhuma das zonas bioclimáticas.

Quadro 8– Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa segundo a NBR 15220.

Vedações externas		Transmitância térmica - U W/m ² .K	Atraso térmico - φ Horas	Fator solar - FS _o %
Paredes	Leve	$U \leq 3,00$	$\varphi \leq 4,3$	$FS_o \leq 5,0$
	Leve refletora	$U \leq 3,60$	$\varphi \leq 4,3$	$FS_o \leq 4,0$
	Pesada	$U \leq 2,20$	$\varphi \geq 6,5$	$FS_o \leq 3,5$
Coberturas	Leve isolada	$U \leq 2,00$	$\varphi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$
	Leve refletora	$U \leq 2,30.FT$	$\varphi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$
	Pesada	$U \leq 2,00$	$\varphi \geq 6,5$	$FS_o \leq 6,5$

Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005).

Já a norma 15575 (ABNT, 2013) sob o título de “Edificações Habitacionais – Desempenho” entrou em vigência no ano de 2013, e está dividida em seis partes.

As partes 4 e 5 da norma apresentam requisitos e critérios para a verificação dos níveis mínimos de desempenho térmico de paredes e coberturas a partir do método simplificado.

Na parte 4, como se pode verificar no Quadro 9, não há obrigatoriedade do uso de isolantes térmicos em paredes em quaisquer das zonas bioclimáticas, uma vez que tais materiais exibem transmitância térmica muito inferior ao máximo tolerado.

Quadro 9- Limites de transmitância térmica de paredes externas segundo a NBR 15575

Transmitância Térmica U W/m ² .K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
U ≤ 2,5	α* ≤ 0,6	α* > 0,6
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5
* α é absorvância à radiação solar da superfície externa da parede.		

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013).

Já a parte 5, como se pode verificar no Quadro 10, indica como obrigatório o uso de isolantes térmicos em coberturas nas zonas bioclimáticas de 3 a 8 sempre que considerada uma cor escura para a telha, pois dificilmente são atingidos valores inferiores à 1,5 W/m²K de transmitância sem o uso deste tipo de material.

Quadro 10-Critérios de cobertura quanto à transmitância térmica.

Transmitância térmica (U) W/m ² K				
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8	
U ≤ 2,30	α ≤ 0,6	α > 0,6	α ≤ 0,4	α > 0,4
	U ≤ 2,3	U ≤ 1,5	U ≤ 2,3 FV	U ≤ 1,5 FV
α é absorvância à radiação solar da superfície externa da cobertura. NOTA O fator de ventilação (FV) é estabelecido na ABNT NBR 15220-2.				

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013).

Tais recomendações para envoltória são também sugeridas pelo Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), do PROCEL/INMETRO.

2.4 SÍNTESE BIBLIOGRÁFICA

Ao longo da história o uso de materiais dotados de baixa transmitância térmica contribuiu para a proteção do Homem, quanto a condições climáticas em ambientes por ele criado.

Atualmente a utilização de isolantes térmicos em edificações é estudada, por diversos autores no intuito de propiciar condições de maior conforto térmico e menor consumo de energia.

Tais pesquisas apontam que dependendo do posicionamento deste tipo de material na envoltória de uma edificação, pode-se alcançar melhorias às condições térmicas internas.

Isto se dá, sobretudo, em toda envoltória de edificações nas regiões com climas mais frios e onde se apresentam maior amplitude térmica, ou somente em coberturas de edificações em climas mais quentes.

Desta forma, pode-se concluir que existe um grande potencial a ser explorado com a incorporação de isolante térmico na construção civil em todo o território brasileiro, mesmo que as normas vigentes não apontem isto de forma mais veemente.

A revisão bibliográfica permitiu, desta forma, antever possíveis resultados quanto ao impacto da utilização de isolantes térmicos em diferentes elementos da envoltória.

Este capítulo também contribuiu na elaboração do método do estudo de caso por meio de algumas considerações que foram identificadas na mesma, tais como:

- Sombreamento de janelas a fim de evitar o ganho excessivo de calor por meio de radiação solar;
- Evitar a ocorrência de pontes térmicas;
- Utilização de isolante térmico associado a materiais com maior capacidade térmica com o intuito de evitar a ocorrência de temperaturas extremas;
- Utilização de isolante térmico na face externa da envoltória, afim de evitar o surgimento de condensação nas superfícies internas da edificação.

3 MÉTODO PARA A ELABORAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

Com o propósito de estudar os impactos do uso de isolante térmico nas condições térmicas internas de Habitações de Interesse Social (HIS), foi proposta a simulação computacional de um modelo sob as condições climáticas de localidades pertencentes às diferentes zonas bioclimáticas brasileiras.

Foi feita, primeiramente neste capítulo, uma caracterização climática das cidades selecionadas para o estudo, representando as oito zonas bioclimáticas brasileiras, com o intuito de uma maior compreensão sobre as mesmas.

Posteriormente, foi definido o modelo computacional para a simulação, onde são descritas as características geométricas, os materiais empregados, as cargas térmicas internas, o regime de ventilação e a configuração da envoltória.

Chegou-se aos resultados por meio de simulações computacionais no software EnergyPlus 8.1 (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2014) e arquivos climáticos de extensão “.epw” proveniente do site <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2015> (LABEEE, 2016).

3.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

Foram selecionados dados climáticos de oito municípios brasileiros (Figura 23), sendo eles:

- Curitiba/PR (zona bioclimática 1);
- Santa Maria/RS (zona bioclimática 2);
- São Paulo/SP (zona bioclimática 3);
- Brasília/DF (zona bioclimática 4);
- Vitória da Conquista/BA (zona bioclimática 5);
- Campo Grande/MS (zona bioclimática 6);
- Teresina/PI (zona bioclimática 7);
- Recife/PE (zona bioclimática 8).

Tais locais foram escolhidos por serem cidades de médio a grande porte e representarem uma amostra diversificada das condições climáticas encontradas no país.

Figura 23- Mapa do Brasil com destaque para as cidades selecionadas para o estudo.



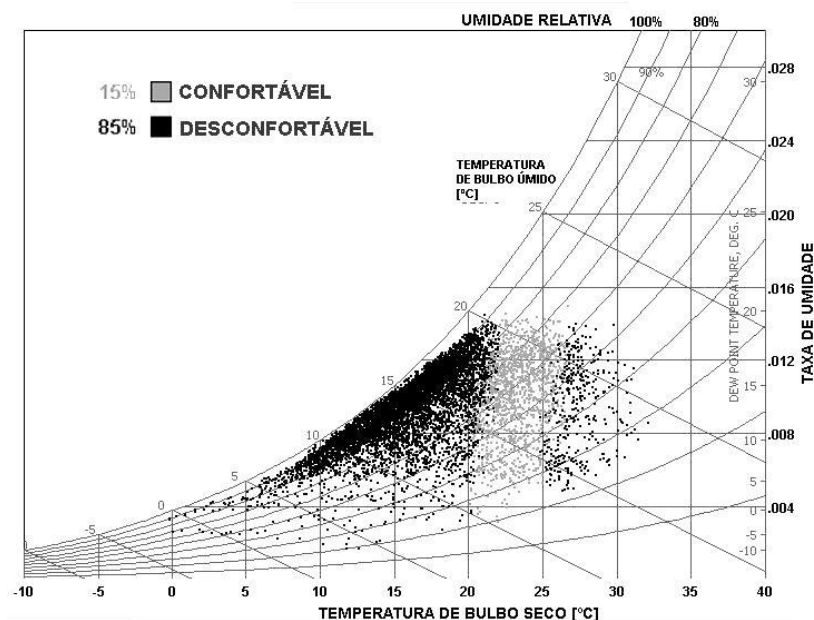
Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

A seguir são feitas as caracterizações climáticas de cada um dos locais, e ao final do capítulo é feita uma síntese comparativa entre as mesmas.

3.1.1 Curitiba (zona bioclimática 1)

Curitiba, capital do estado do Paraná, localizada na latitude 25°25'47" Sul e longitude 49°16'19" Oeste, insere-se, segundo a NBR15220 (ABNT, 2005) na zona bioclimática 1. Apresenta condições climáticas com incidência de 85% de horas de desconforto ao longo de todo o ano (Figura 24), sendo em sua maioria por frio.

Figura 24- Carta Psicrométrica com dados horários típicos de temperatura e umidade de Curitiba, PR. Pontos pretos: horas de desconforto. Pontos cinza: horas de conforto pelo modelo adaptativo.



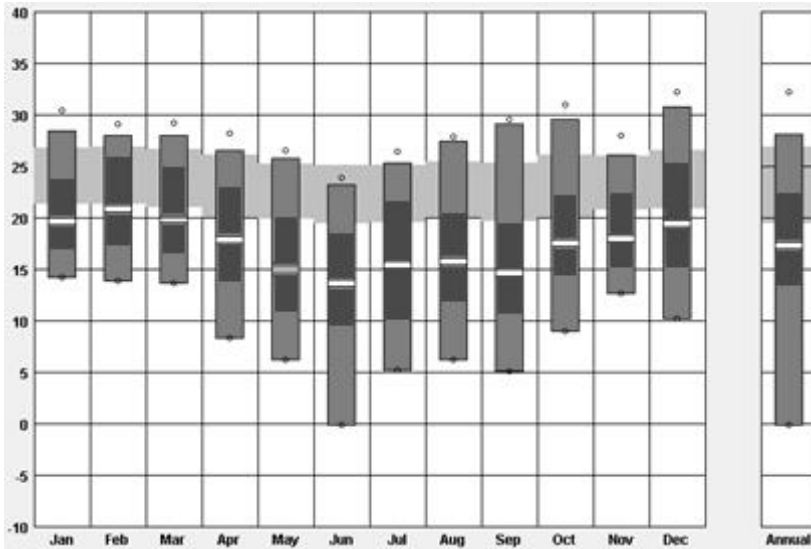
Fonte: Elaborado no software Climate Consultant 5.5 (UCLA, 2015) e por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

Dotada de um verão ameno e inverno intenso, se comparado a outros climas brasileiros, a cidade apresenta temperaturas médias mensais consideradas abaixo da zona de conforto durante o ano todo (Gráfico 1).

É possível verificar que estas temperaturas seguem o índice de radiação, como aponta o Gráfico 2, sendo os meses mais frios aqueles

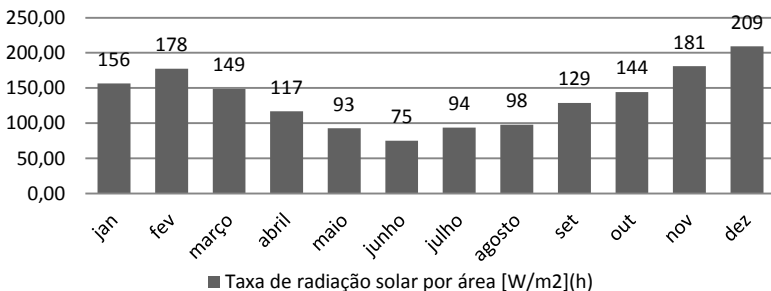
que com menor índice e os meses mais quentes com maior índice de radiação solar incidente.

Gráfico 1—Temperaturas médias (vazio entre as barras cinza escuro), médias das máximas e médias das mínimas (limite superior e inferior das barras em cinza escuro), máximas e mínimas mensais (limite superior e inferior das barras em cinza intermediário) e área de conforto pelo modelo adaptativo (faixa cinza claro) na cidade de Curitiba, PR.



Fonte: Elaborado no software Climate Consultant 5.5 (UCLA, 2015) e por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

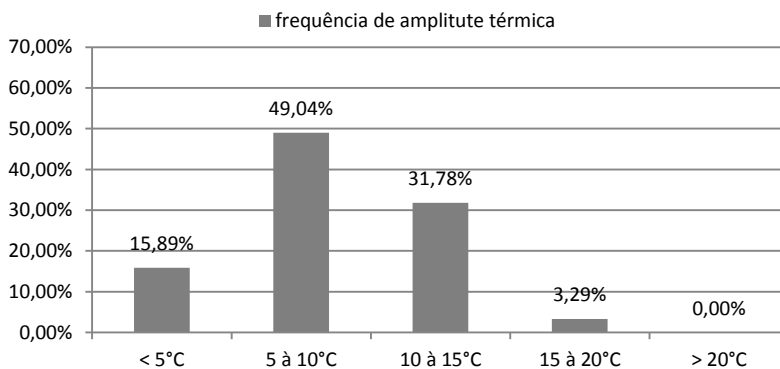
Gráfico 2 – Taxa de radiação solar incidente [W/m^2] h, em Curitiba/PR.



Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

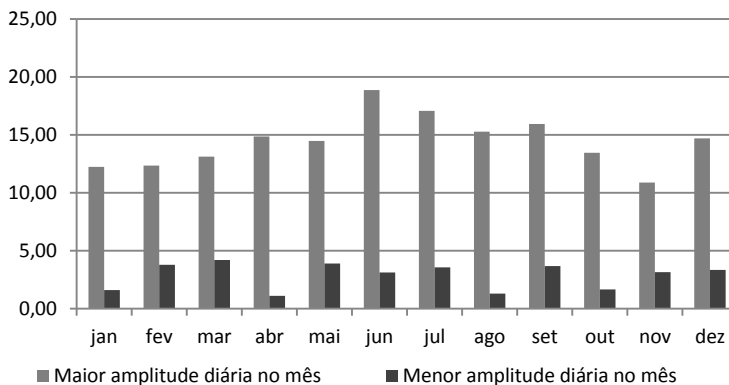
Curitiba registra grande amplitude térmica anual, na qual as temperaturas podem variar de condições próximas a 0°C no inverno, a condições superiores a 30°C no verão.

Gráfico 3– Gráfico de frequência de amplitude térmica diária na cidade de Curitiba/PR.



Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

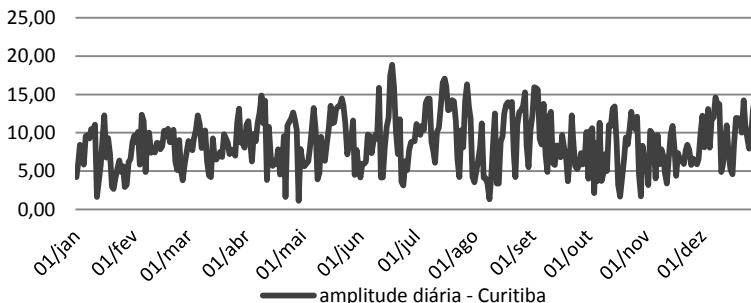
Gráfico 4– Maiores e menores amplitudes térmicas diárias registradas em cada mês do ano na cidade de Curitiba/PR.



Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

A cidade também apresenta grande amplitude térmica diária, ocorrendo variações de temperatura acima de 10°C em um mesmo dia em mais de um terço do ano (Gráfico 3).

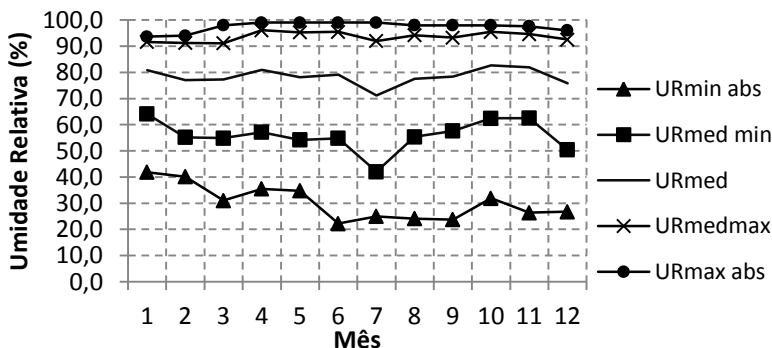
Gráfico 5– Amplitude térmica diária ao longo do ano na cidade de Curitiba/PR.



Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

Durante os meses de inverno são registradas as maiores amplitudes térmicas diárias, podendo ocorrer neste período uma diferença de 15 a 20°C em um mesmo dia (Gráfico 4 e Gráfico 5). Este fenômeno ocorre no mesmo período em que se apresentam as menores umidades relativas médias do ar, que podem chegar próximo a 70% (Gráfico 6).

Gráfico 6- Umidade relativa do ar ao longo do ano na cidade de Curitiba/PR.

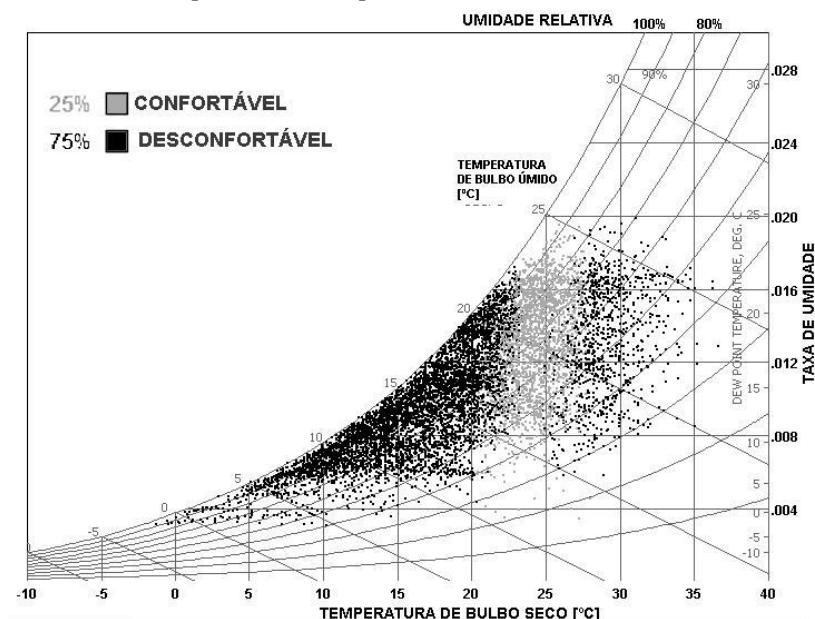


Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

3.1.2 Santa Maria (zona bioclimática 2)

Localizada na latitude 29°41'03" Sul e longitude 53°48'25" Oeste, Santa Maria está inserida na zona bioclimática 2, segundo a NBR15220 (ABNT, 2005). São registradas condições climáticas de desconforto em 75% de horas ao longo do ano (Figura 25), sendo em sua maior parte devido ao frio, embora também presente, diferentemente de Curitiba, considerável porcentagem de horas de desconforto por calor.

Figura 25- Carta Psicrométrica com dados horários típicos de temperatura e umidade de Santa Maria, RS. Pontos pretos: horas de desconforto. Pontos cinza: horas de conforto pelo modelo adaptativo.

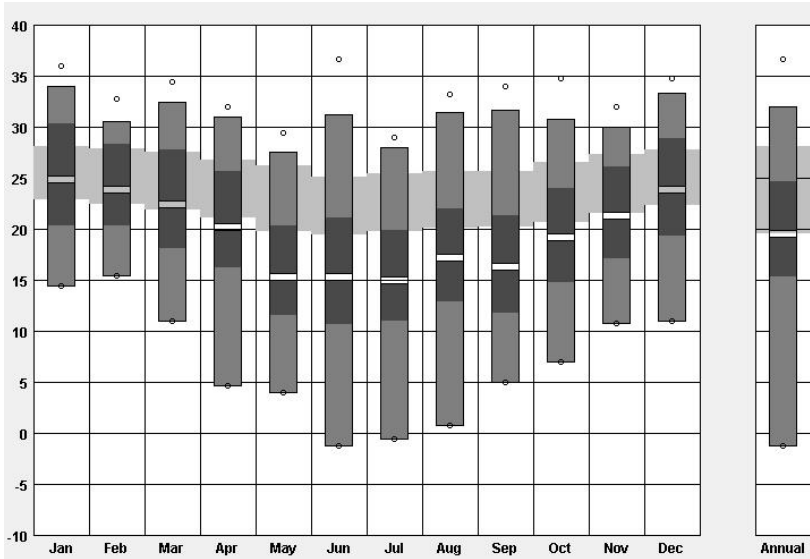


Fonte: Elaborado no software Climate Consultant 5.5 (UCLA, 2015) e por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

Santa Maria apresenta condições de um verão quente, quando o índice de radiação solar é mais alto, com temperaturas máximas próximas de 35°C, e inverno rigoroso, com temperaturas mínimas inferiores a 0°C (Gráfico 7) quando índice de radiação solar é mais

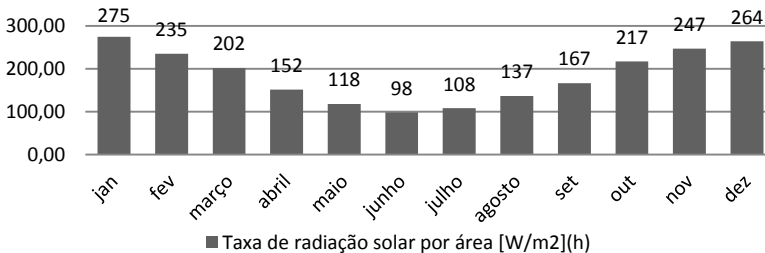
baixo (Gráfico 8). Desta forma, a mesma registra grande amplitude térmica anual.

Gráfico 7- Temperaturas médias (vazio entre as barras cinza escuro), médias das máximas e médias das mínimas (limite superior e inferior das barras em cinza escuro), máximas e mínimas mensais (limite superior e inferior das barras em cinza intermediário) e área de conforto pelo modelo adaptativo (faixa cinza claro) na cidade de Santa Maria, RS.



Fonte: Elaborado no software Climate Consultant 5.5 (UCLA, 2015) e por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

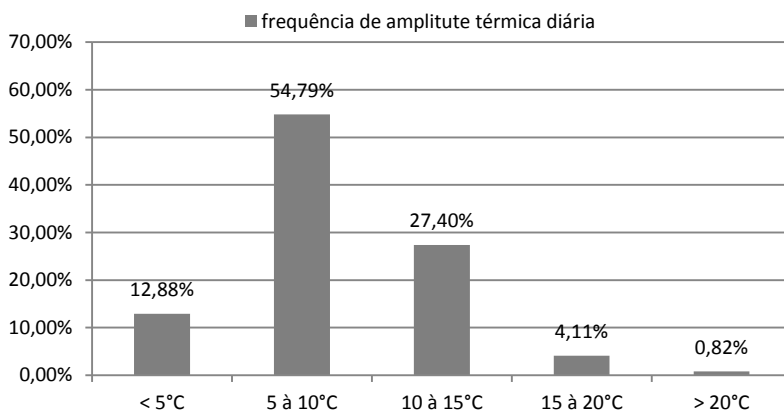
Gráfico 8– Taxa de radiação solar incidente [W/m^2] h, em Santa Maria/RS.



Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

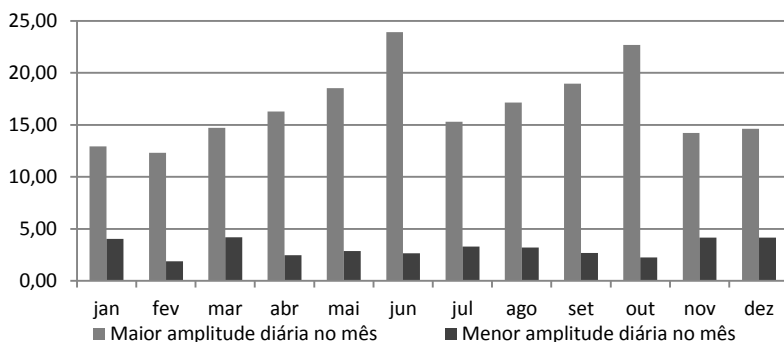
Apresenta também, condições climáticas de grande amplitude térmica diária, sendo 27% dos dias do ano com variação entre 10 e 15°C, 4% com variação entre 15 e 20°C e 1% acima de 20°C (Gráfico 9). As maiores amplitudes térmicas diárias ocorrem nos meses de junho e outubro (Gráfico 10 e Gráfico 11) devido à baixa umidade relativa do ar nestes meses (Gráfico 12).

Gráfico 9- Frequência de amplitude térmica diária na cidade de Santa Maria/RS.



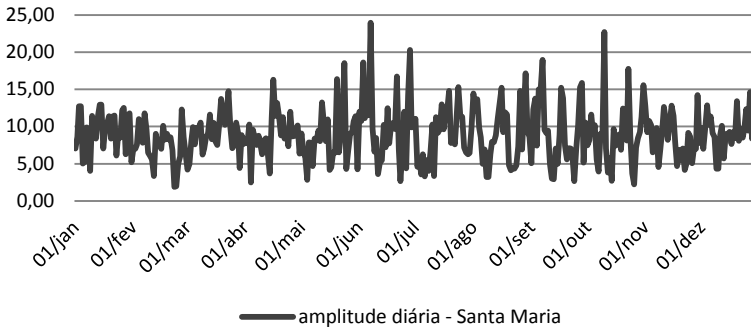
Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEEE, 2016).

Gráfico 10– Maiores e menores amplitudes térmicas diárias registradas em cada mês do ano na cidade de Santa Maria/RS.



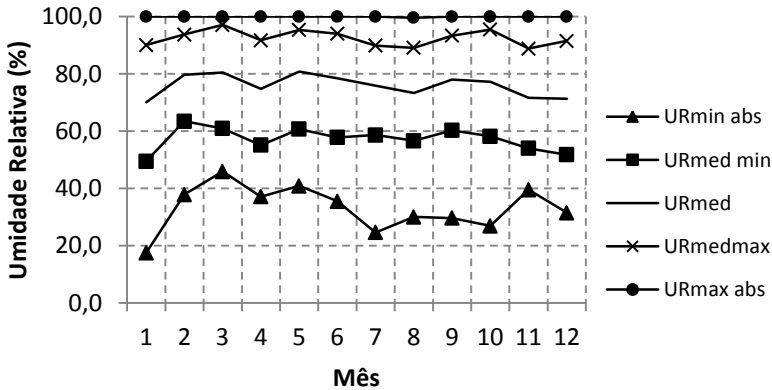
Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEEE, 2016).

Gráfico 11 –Amplitude térmica diária ao longo do ano na cidade de Santa Maria/RS.



Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

Gráfico 12- Umidade relativa do ar ao longo do ano na cidade de Santa Maria/RS.

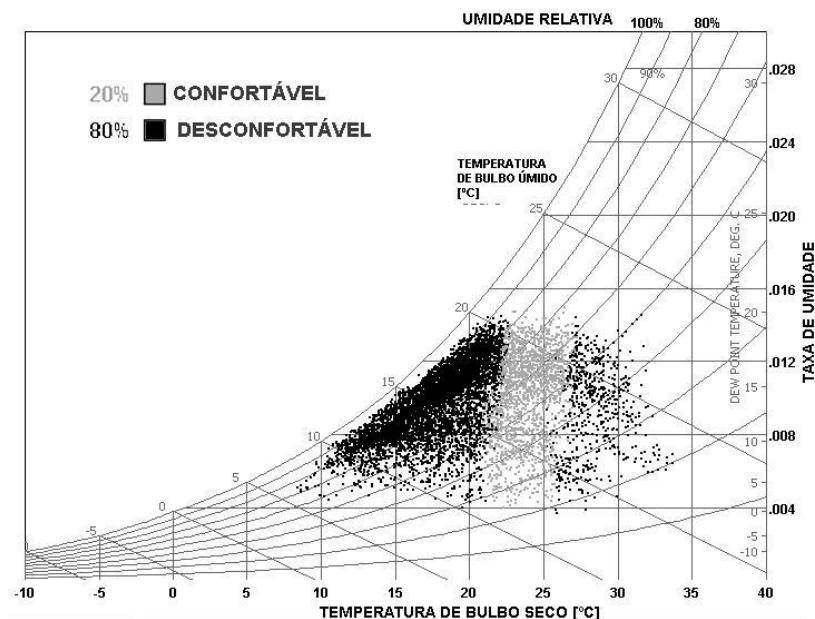


Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

3.1.3 São Paulo (zona bioclimática 3)

São Paulo, localizada na latitude 23°32'51" Sul e longitude 46°38'10" Oeste, insere-se segundo a NBR15220 (ABNT, 2005) na zona bioclimática 3. Em 20% das horas do ano, as condições climáticas se apresentam confortáveis. No restante do ano são registradas maior incidência de desconforto por frio do que por calor (Figura 26).

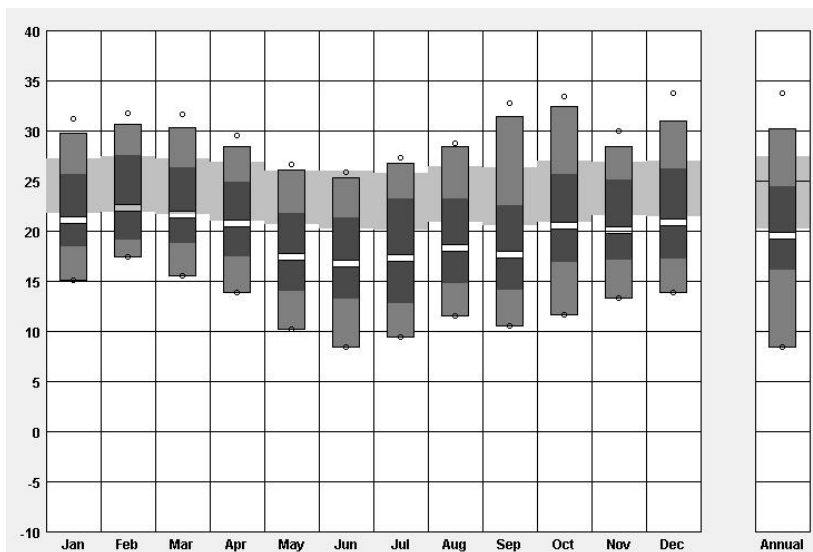
Figura 26- Carta Psicrométrica com dados horários típicos de temperatura e umidade de São Paulo, SP. Pontos pretos: horas de desconforto. Pontos cinza: horas de conforto pelo modelo adaptativo.



Fonte: Elaborado no software Climate Consultant 5.5 (UCLA, 2015) e por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

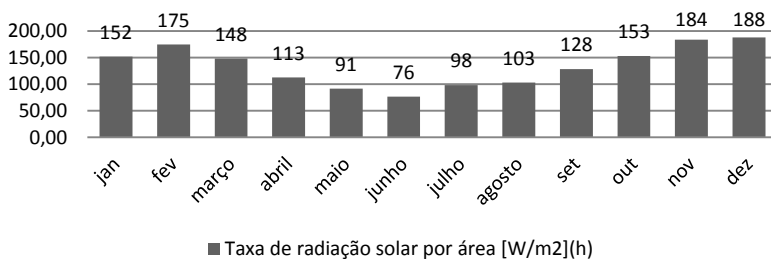
A cidade apresenta grande amplitude térmica anual, com verão no qual as temperaturas máximas podem superar 30°C e os índices de radiação solar são mais altos, e inverno com temperaturas mínimas próximas a 10°C, quando os índices de radiação solar se apresentam mais baixos (Gráfico 13 e Gráfico 14).

Gráfico 13- Temperaturas médias (vazio entre as barras cinza escuro), médias das máximas e médias das mínimas (limite superior e inferior das barras em cinza escuro), máximas e mínimas mensais (limite superior e inferior das barras em cinza intermediário) e área de conforto pelo modelo adaptativo (faixa cinza claro) na cidade de São Paulo, SP



Fonte: Elaborado no software Climate Consultant 5.5 (UCLA, 2015) e por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

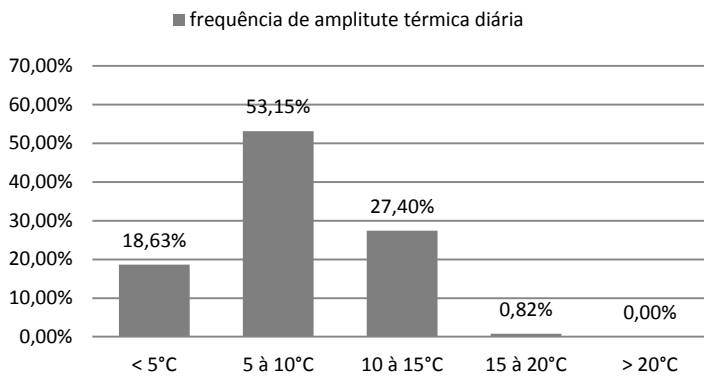
Gráfico 14 - Taxa de radiação solar incidente [W/m^2] h, em São Paulo/SP.



Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

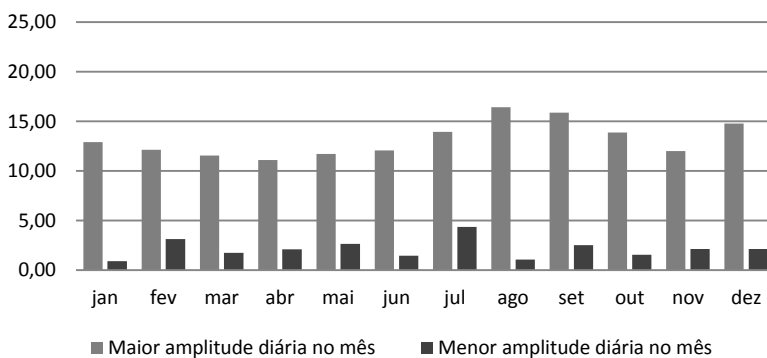
São Paulo apresenta amplitude térmica diária na qual ocorrem variações de temperaturas de 5°C a 10°C em um mesmo dia em 53% do ano (Gráfico 15). As maiores amplitudes térmicas diárias podem chegar a pouco mais de 16°C (Gráfico 16) e ocorrem nos período de menor umidade relativa do ar (Gráfico 17 e Gráfico 18).

Gráfico 15- Frequência de amplitude térmica diária na cidade de São Paulo/SP.



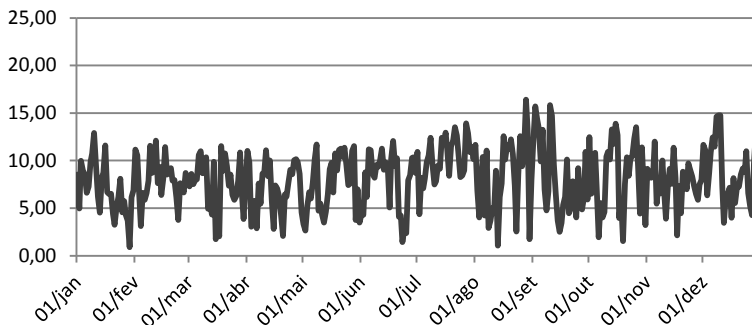
Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

Gráfico 16- Maiores e menores amplitudes térmicas diárias registradas em cada mês do ano na cidade de São Paulo/SP.



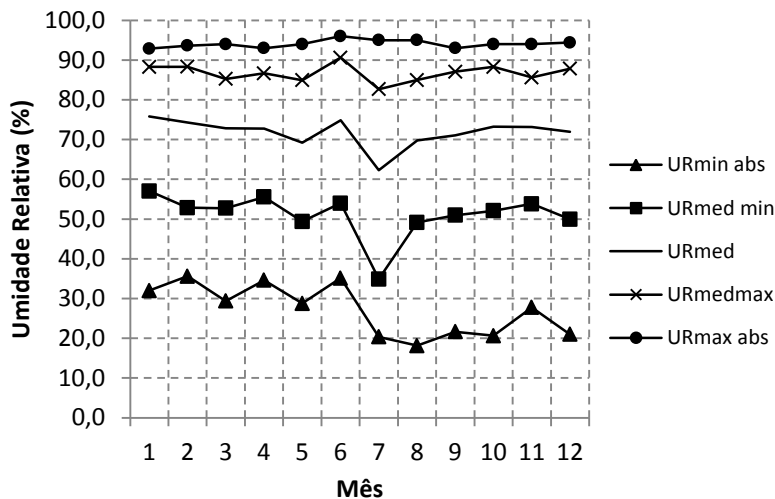
Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

Gráfico 17- Amplitude térmica diária ao longo do ano na cidade de São Paulo/SP.



Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

Gráfico 18- Umidade relativa do ar ao longo do ano na cidade de São Paulo/SP.

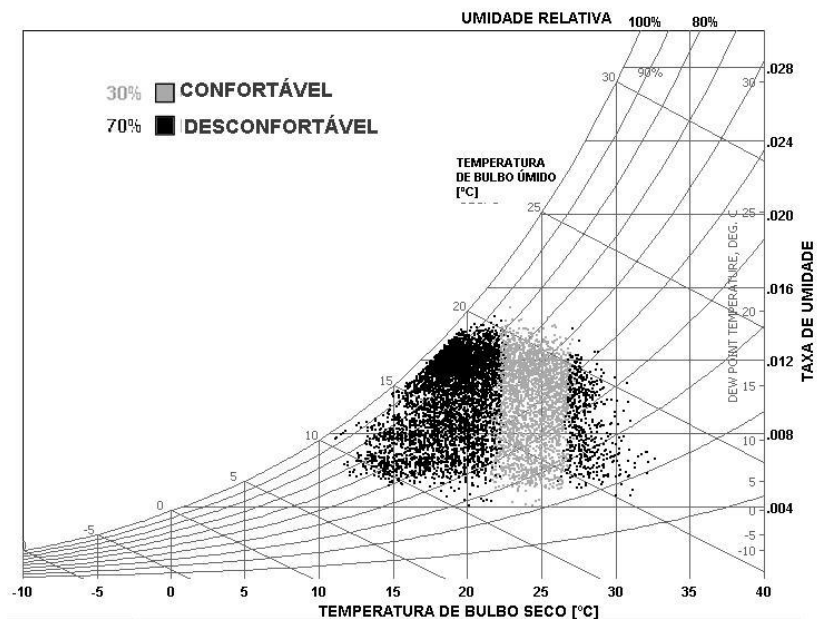


Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

3.1.4 Brasília (zona bioclimática 4)

Localizada na latitude $15^{\circ}50'16''$ Sul e longitude $47^{\circ}42'48''$ Oeste, a cidade de Brasília insere-se, segundo a NBR15220 (ABNT, 2005), na zona bioclimática 4. Apresenta condições de conforto em 30% das horas do ano e apesar de exibir considerável porcentagem de desconforto por calor, é mais frequente a ocorrência de desconforto por frio (Figura 27).

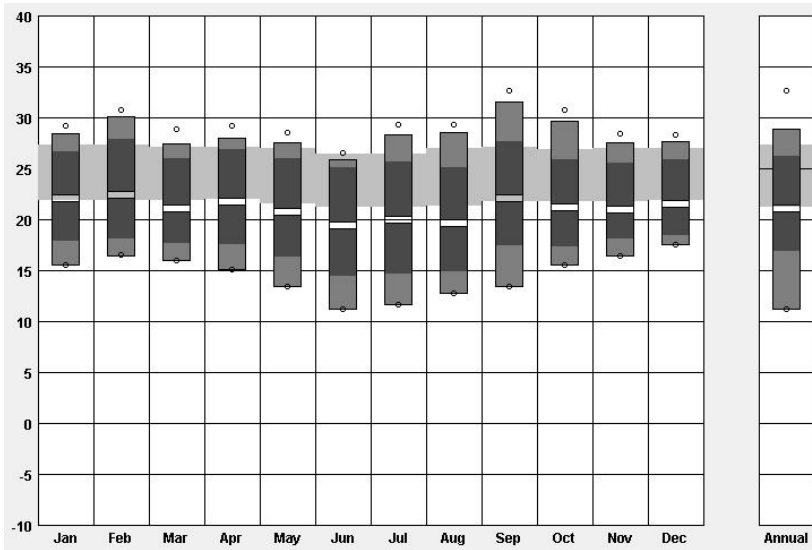
Figura 27- Carta Psicrométrica com dados horários típicos de temperatura e umidade de Brasília, DF. Pontos pretos: horas de desconforto. Pontos cinza: horas de conforto pelo modelo adaptativo.



Fonte: Elaborado no software Climate Consultant 5.5 (UCLA, 2015) e por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

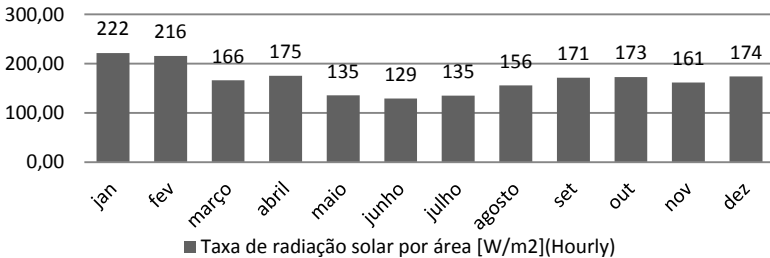
O município registra amplitude térmica anual menor que as demais cidades já apresentadas, por estar localizada em menor latitude. No mesmo há ocorrência de temperaturas médias mínimas próximas a 13°C no inverno e temperaturas médias máximas acima de 25°C na primavera e verão (Gráfico 19).

Gráfico 19- Temperaturas médias (vazio entre as barras cinza escuro), médias das máximas e médias das mínimas (limite superior e inferior das barras em cinza escuro), máximas e mínimas mensais (limite superior e inferior das barras em cinza intermediário) e área de conforto pelo modelo adaptativo (faixa cinza claro) na cidade de Brasília, DF.



Fonte: Elaborado no software Climate Consultant 5.5 (UCLA, 2015) e por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

Gráfico 20 - Taxa de radiação solar incidente [W/m²] h, em Brasília/DF.

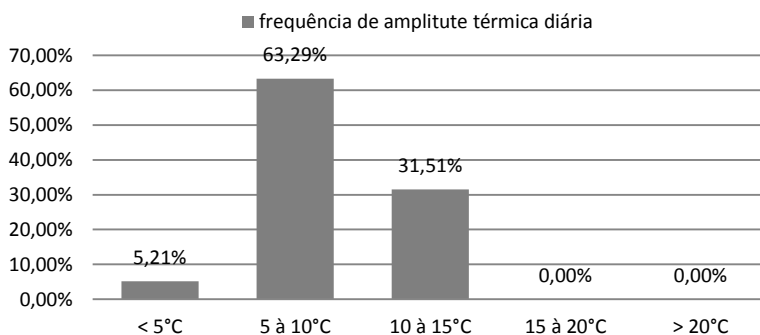


Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

É possível verificar no Gráfico 20 que Brasília apresenta taxa de radiação solar bem distribuída durante o ano, mas com maior incidência nos meses do verão.

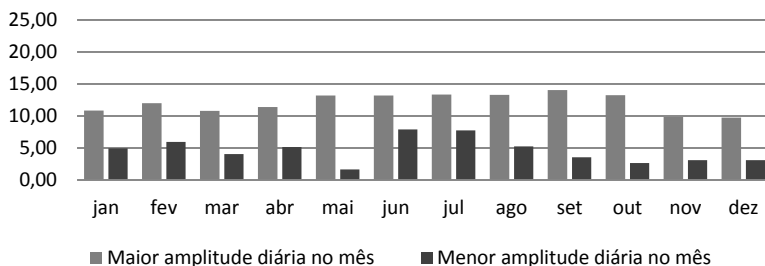
Em quase um terço dos dias do ano as temperaturas podem variar mais de 10°C (Gráfico 21), ocorrendo as maiores amplitudes térmicas diárias principalmente durante o período de meses que se estende de maio a outubro (Gráfico 22 e Gráfico 23), quando a umidade relativa do ar é mais baixa, podendo atingir valores inferiores a 20% (Gráfico 24).

Gráfico 21 - Frequência de amplitude térmica diária na cidade de Brasília, DF.



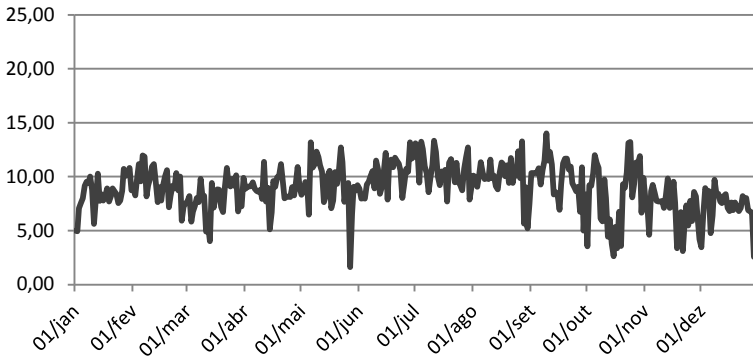
Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEEE, 2016).

Gráfico 22 - Maiores e menores amplitudes térmicas diárias registradas em cada mês do ano na cidade de Brasília, DF.



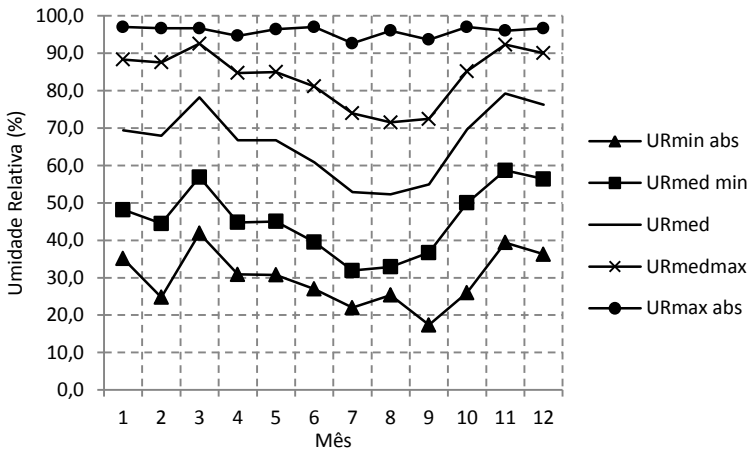
Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEEE, 2016).

Gráfico 23- Amplitude térmica diária ao longo do ano na cidade de Brasília, DF.



Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

Gráfico 24- Umidade relativa do ar ao longo do ano na cidade de Brasília/DF.

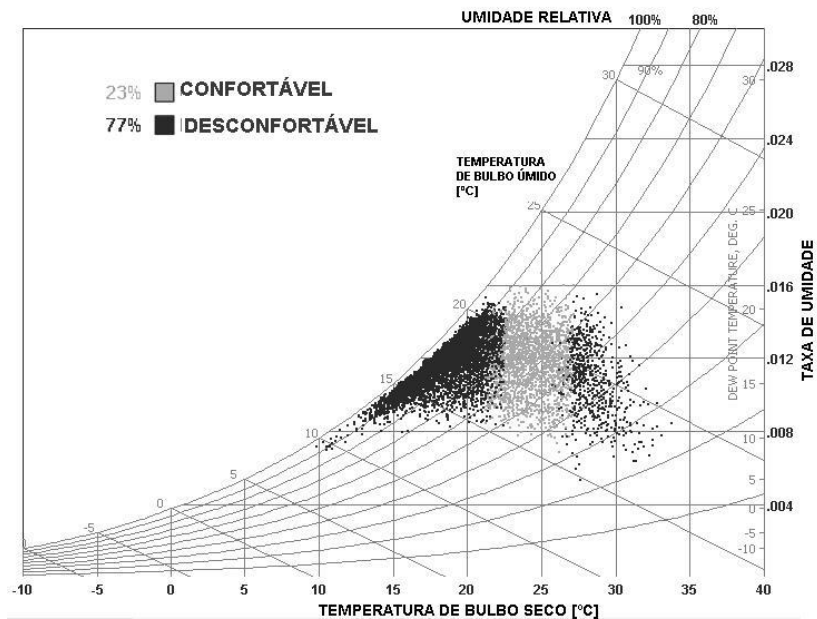


Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

3.1.5 Vitória da Conquista (zona bioclimática 5)

Vitória da Conquista, localizada na latitude 14°51'58" Sul e longitude 40°50'22" Oeste, insere-se, segundo a NBR 15220 (ABNT, 2005), na zona bioclimática 5. Ao longo do ano, 77% das horas são consideradas desconfortáveis termicamente, sendo na sua maioria devido à condição de frio (Figura 28).

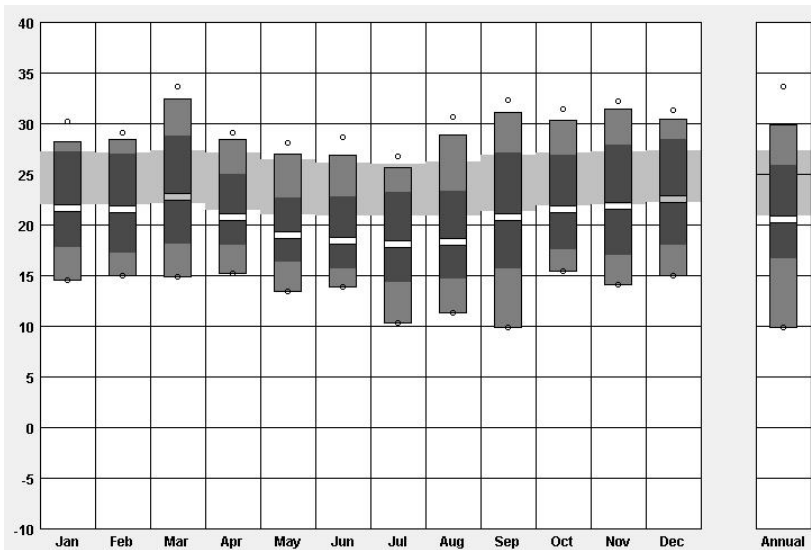
Figura 28- Carta Psicrométrica com dados horários típicos de temperatura e umidade de Vitória da Conquista/BA. Pontos pretos: horas de desconforto. Pontos cinza: horas de conforto pelo modelo adaptativo.



Fonte: Elaborado no software Climate Consultant 5.5 (UCLA, 2015) e por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

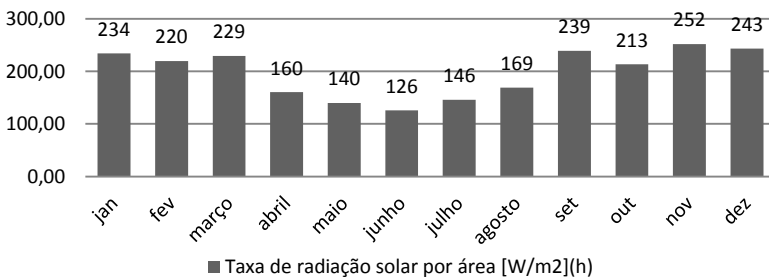
A cidade apresenta temperaturas mais baixas nos meses entre Julho e Setembro, podendo chegar aos 10°C e temperaturas mais elevadas no mês de Março, com temperaturas máximas acima dos 30 °C. As temperaturas médias do local são quase sempre abaixo da zona de conforto térmico (Gráfico 25).

Gráfico 25- Temperaturas médias (vazio entre as barras cinza escuro), médias das máximas e médias das mínimas (limite superior e inferior das barras em cinza escuro), máximas e mínimas mensais (limite superior e inferior das barras em cinza intermediário) e área de conforto pelo modelo adaptativo (faixa cinza claro) na cidade de Vitória da Conquista, BA.



Fonte: Elaborado no software Climate Consultant 5.5 (UCLA, 2015) e por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

Gráfico 26- Taxa de radiação solar incidente [W/m^2] h, em Vitória da Conquista/BA.

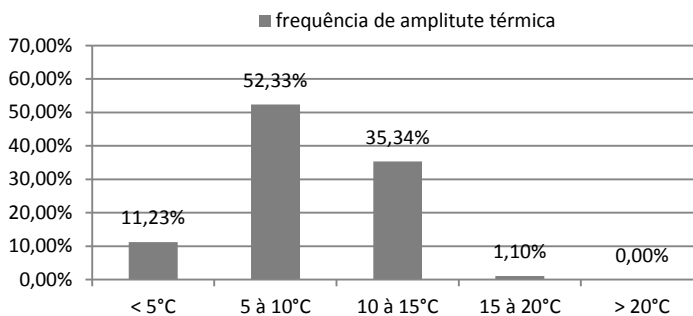


Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

O índice de radiação solar se apresenta mais elevado nos meses mais quentes do ano e mais baixo nos meses mais frios (Gráfico 26).

Em 36,44% do ano, a cidade de Vitória da Conquista exibe amplitude térmica diária superior a 10°C, e em somente 11,23% amplitude inferior a 5°C (Gráfico 27). Nos restantes 52,33% do ano a amplitude térmica diária se apresenta entre 5 e 10°C.

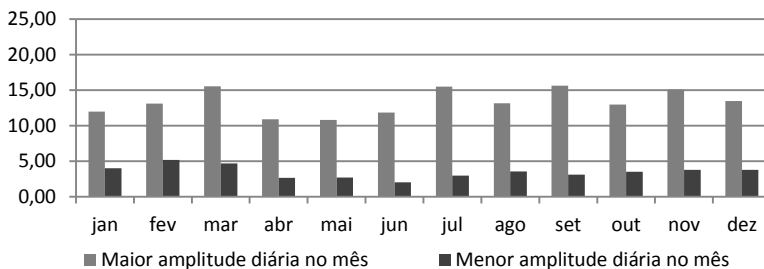
Gráfico 27- Frequência de amplitude térmica diária na cidade de Vitória da Conquista, BA.



Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

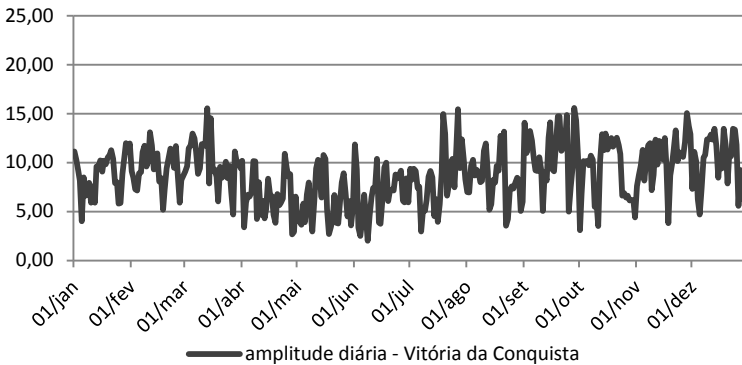
As maiores amplitudes térmicas diárias são registradas em meses como março e setembro (Gráfico 28 e Gráfico 29), sendo, também, nestes meses registrados as mais baixas umidades relativas do ar (Gráfico 30).

Gráfico 28- Maiores e menores amplitudes térmicas diárias registradas em cada mês do ano na cidade de Vitória da Conquista, BA.



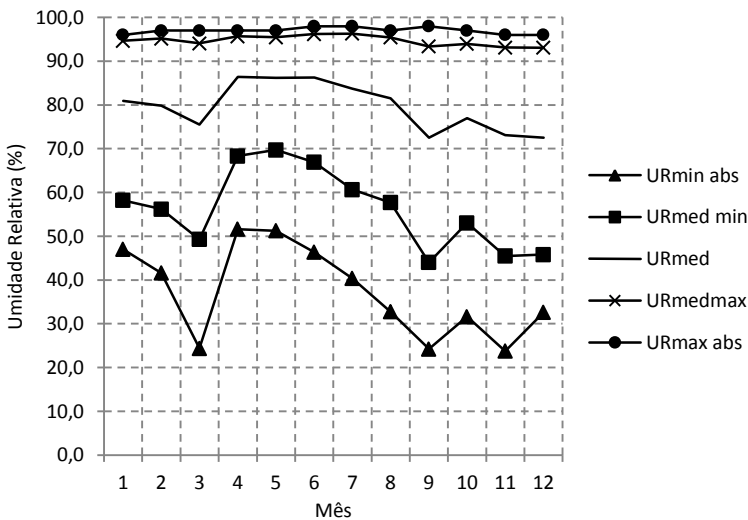
Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

Gráfico 29- Amplitude térmica diária ao longo do ano na cidade de Vitória da Conquista, BA.



Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

Gráfico 30- Umidade relativa do ar ao longo do ano na cidade de Vitória da Conquista/BA.

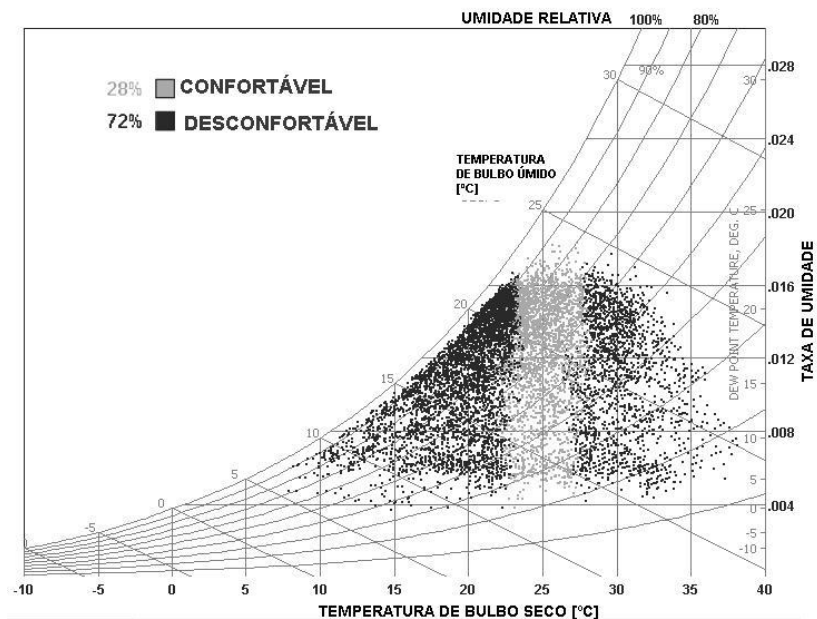


Fonte: Elaborado pelo autor e por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

3.1.6 Campo Grande (zona bioclimática 6)

Inserido, segundo a NBR15220 (ABNT, 2005), na zona bioclimática 6, Campo Grande localiza-se na latitude $20^{\circ}26'34''$ Sul e longitude $54^{\circ}38'47''$ Oeste. Apresenta condições de conforto térmico em pouco mais de um quarto das horas do ano, sendo as condições de desconforto por calor ou por frio distribuídas de forma equilibrada (Figura 29).

Figura 29- Carta Psicrométrica com dados horários típicos de temperatura e umidade de Campo Grande, MS. Pontos pretos: horas de desconforto. Pontos cinza: horas de conforto pelo modelo adaptativo.

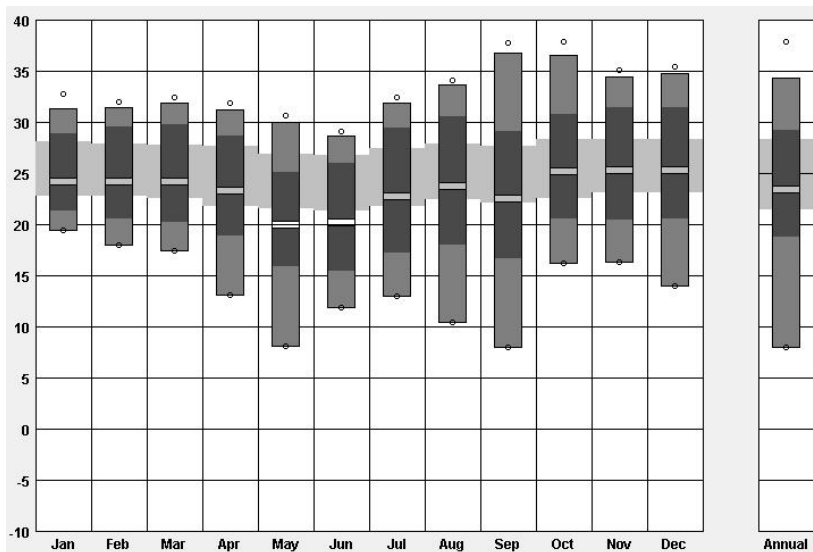


Fonte: Elaborado no software Climate Consultant 5.5 (UCLA, 2015) e por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

A cidade registra razoável amplitude térmica anual, mas com ocorrência de temperaturas médias próximas a 20°C no inverno e temperaturas médias próximas a 25°C na primavera, apresentando mais condições de calor durante a primavera do que no verão. Durante quase

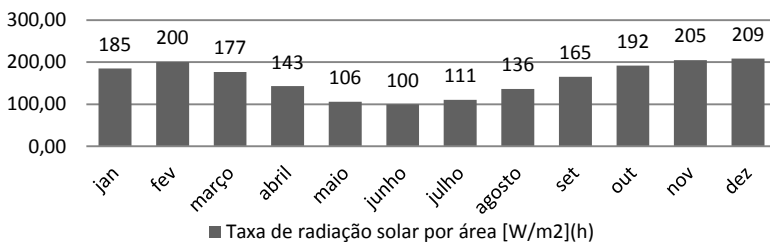
todo o ano se apresentam em Campo Grande temperaturas médias dentro da zona de conforto térmico (Gráfico 31).

Gráfico 31- Temperaturas médias (vazio entre as barras cinza escuro), médias das máximas e médias das mínimas (limite superior e inferior das barras em cinza escuro), máximas e mínimas mensais (limite superior e inferior das barras em cinza intermediário) e área de conforto pelo modelo adaptativo (faixa cinza claro) na cidade de Campo Grande, MS.



Fonte: Elaborado no software Climate Consultant 5.5 (UCLA, 2015) e por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

Gráfico 32- Taxa de radiação solar incidente [W/m^2] h, em Campo Grande/MS.

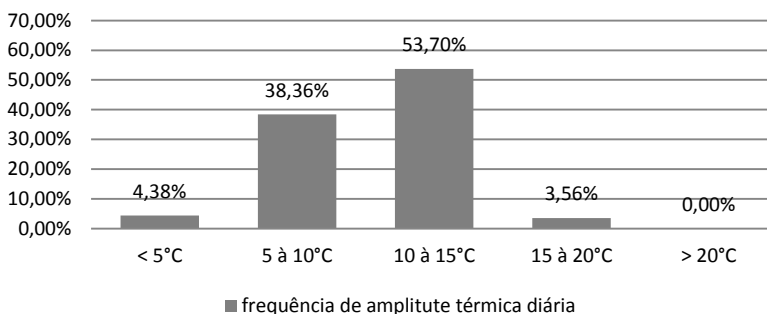


Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

Desta forma, os meses mais quentes são os mesmos que apresentam maiores taxas, e os mais frios as menores taxas de incidência de radiação solar (Gráfico 32).

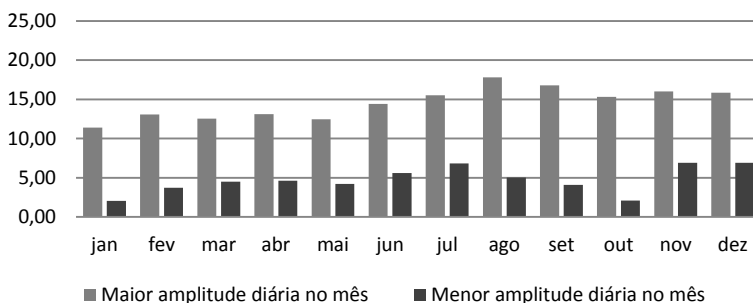
Em mais da metade dos dias a cidade apresenta amplitude térmica diária superior a 10°C (Gráfico 33), sendo os meses que se estendem de julho a dezembro aqueles com maior variação de temperatura em um mesmo dia (Gráfico 34 e Gráfico 35) e com menor umidade relativa do ar (Gráfico 36).

Gráfico 33- Frequência de amplitude térmica diária na cidade de Campo Grande, MS.



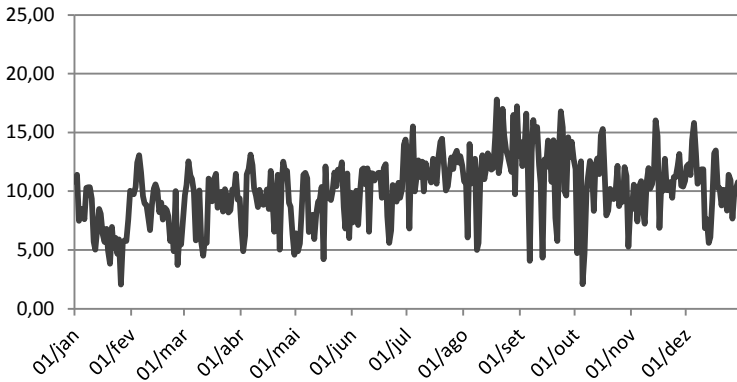
Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

Gráfico 34- Maiores e menores amplitudes térmicas diárias registradas em cada mês do ano na cidade de Campo Grande, MS.



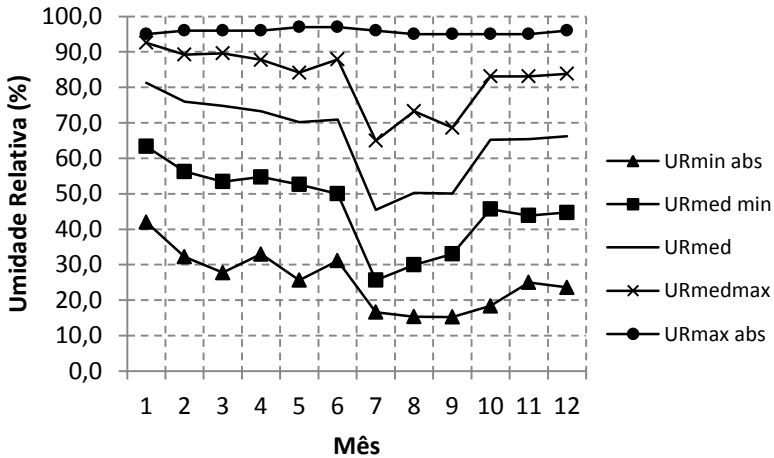
Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

Gráfico 35- Amplitude térmica diária ao longo do ano na cidade de Campo Grande, MS.



Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

Gráfico 36- Umidade relativa do ar ao longo do ano na cidade de Campo Grande, MS.

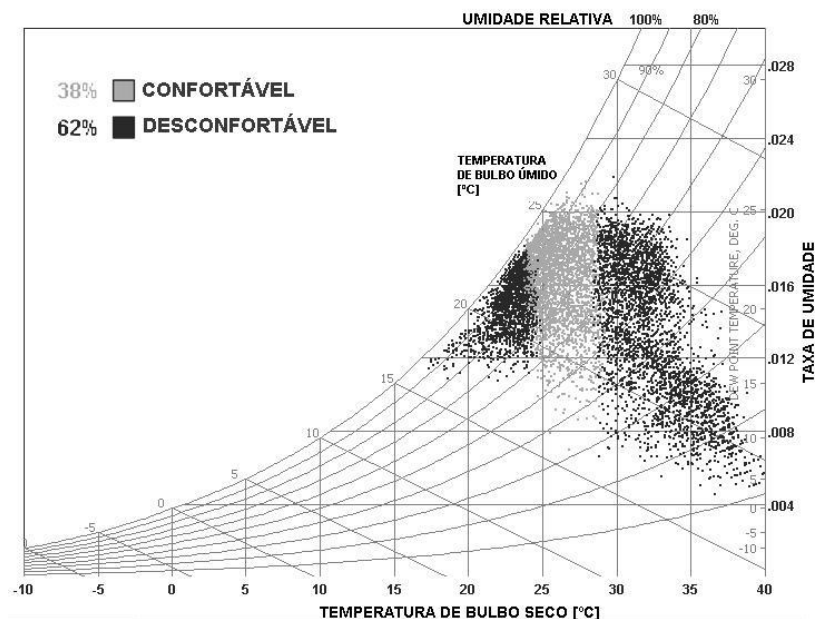


Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

3.1.7 Teresina (zona bioclimática 7)

Teresina, localizada na latitude 05°05'20" Sul e longitude 42°48'07" Oeste, está situada na zona bioclimática 7, segundo a NBR 15220 (ABNT, 2005). Apresenta 38% de horas de conforto térmico ao longo do ano, e no restante do ano apresenta, em sua maioria, desconforto por calor (Figura 30).

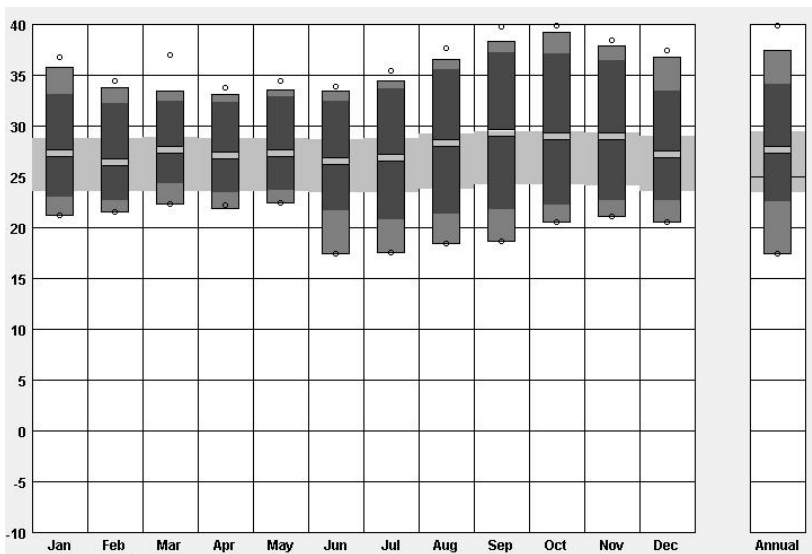
Figura 30- Carta Psicrométrica com dados horários típicos de temperatura e umidade de Teresina, PI. Pontos pretos: horas de desconforto. Pontos cinza: horas de conforto pelo modelo adaptativo.



Fonte: Elaborado no software Climate Consultant 5.5 (UCLA, 2015) e por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

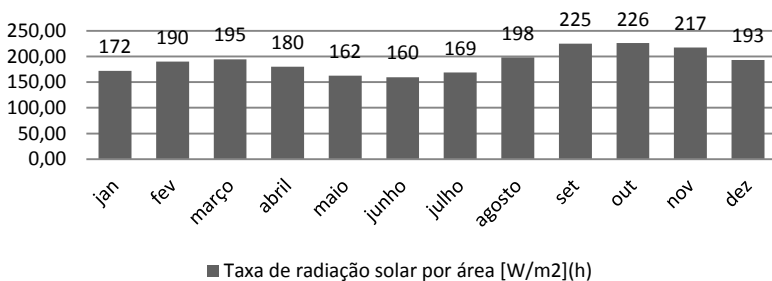
É possível verificar por meio do Gráfico 37, que apesar de Teresina apresentar temperaturas máximas acima dos 30°C ao longo do ano, e podendo atingir até mesmo valores próximos a 40°C no mês de outubro, as temperaturas médias de todos os meses se encontram dentro da zona de conforto térmico.

Gráfico 37- Temperaturas médias (vazio entre as barras cinza escuro), médias das máximas e médias das mínimas (limite superior e inferior das barras em cinza escuro), máximas e mínimas mensais (limite superior e inferior das barras em cinza intermediário) e área de conforto pelo modelo adaptativo (faixa cinza claro) na cidade de Teresina, PI.



Fonte: Elaborado no software Climate Consultant 5.5 (UCLA, 2015) e por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

Gráfico 38- Taxa de radiação solar incidente [W/m^2] h, em Teresina/PI.

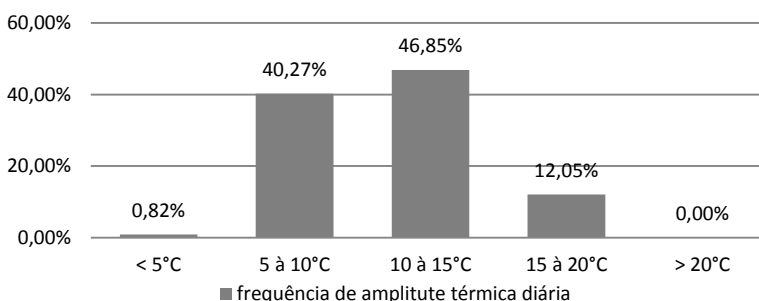


Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

Assim como ocorre com as temperaturas do ar, em Teresina o índice de radiação solar é elevado o ano todo, porém sendo os meses mais quentes aqueles que apresentam as taxas mais elevadas (Gráfico 38).

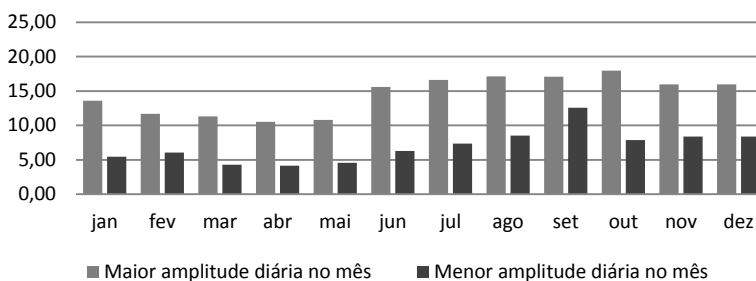
Em quase 60% dos dias a amplitude térmica é maior que 10°C (Gráfico 39), e as maiores variações de temperatura em um só dia se dão nos meses entre junho e dezembro, podendo superar os 17°C (Gráfico 40 e Gráfico 41). Estes meses são, também, aqueles que apresentam as menores porcentagens de umidade relativa do ar, podendo chegar a quase 10% (Gráfico 42).

Gráfico 39- Frequência de amplitude térmica diária na cidade de Teresina, PI.



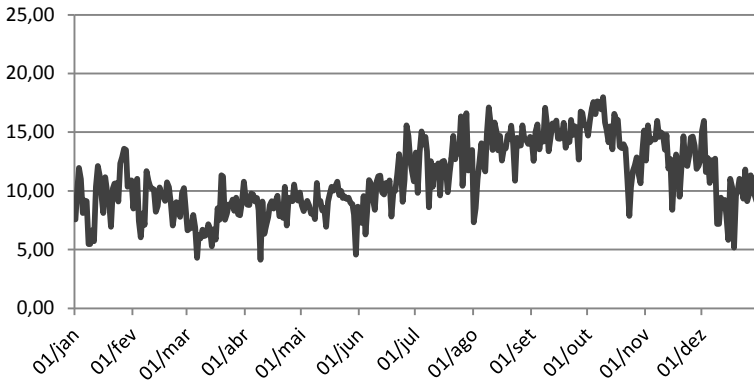
Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

Gráfico 40- Maiores e menores amplitudes térmicas diárias registradas em cada mês do ano na cidade de Teresina, PI.



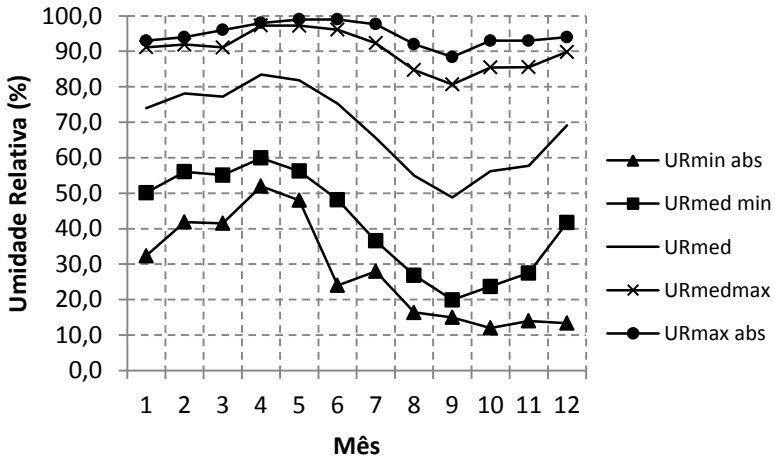
Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

Gráfico 41- Amplitude térmica diária ao longo do ano na cidade de Teresina, PI.



Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

Gráfico 42- Umidade relativa do ar ao longo do ano na cidade de Teresina, PI.

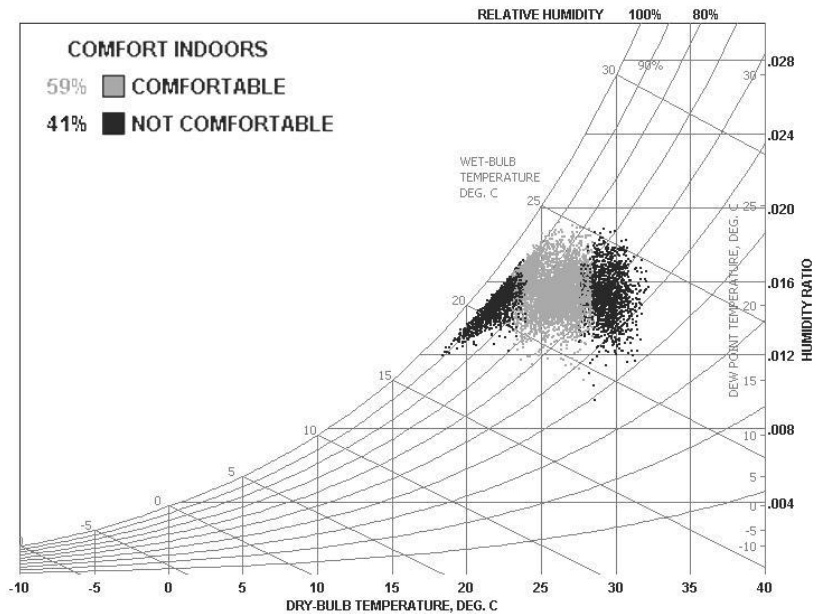


Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

3.1.8 Recife (zona bioclimática 8)

Capital do estado do Pernambuco, Recife, localiza-se na latitude 08°04'03" Sul e longitude 34°55'00" Oeste, inserindo-se, segundo a NBR15220 (ABNT, 2005), na zona bioclimática 8. Em mais da metade das horas do ano apresenta condições de conforto térmico, sendo no restante do ano maior a incidência de desconforto por calor, do que por frio (Figura 31).

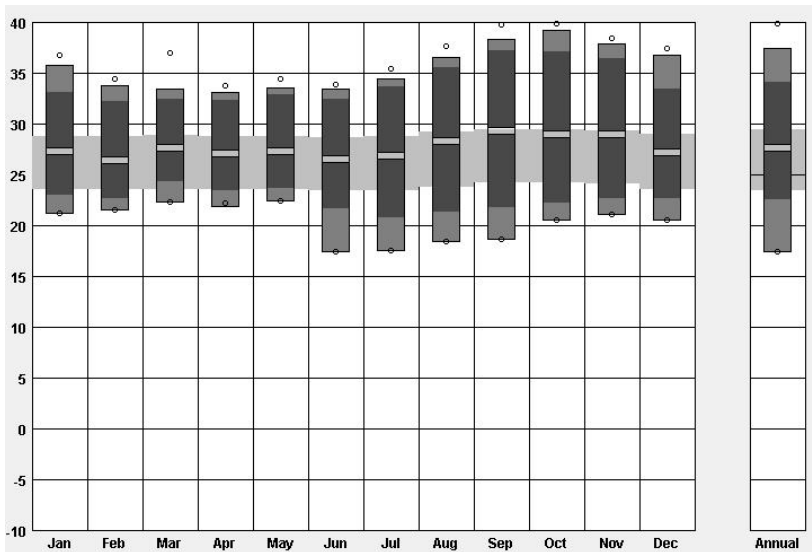
Figura 31- Carta Psicrométrica com dados horários típicos de temperatura e umidade de Recife, PE. Pontos pretos: horas de desconforto. Pontos cinza: horas de conforto pelo modelo adaptativo.



Fonte: Elaborado no software Climate Consultant 5.5 (UCLA, 2015) e por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

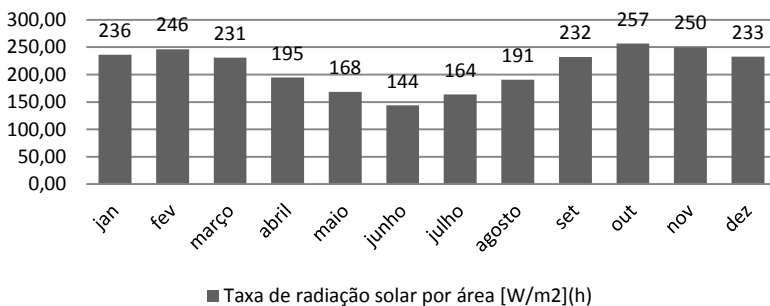
Com a ocorrência de temperaturas médias e taxas de radiação solar muito semelhantes durante o ano todo, Recife apresenta baixa amplitude térmica anual (Gráfico 43 e Gráfico 44).

Gráfico 43- Temperaturas médias (vazio entre as barras cinza escuro), médias das máximas e médias das mínimas (limite superior e inferior das barras em cinza escuro), máximas e mínimas mensais (limite superior e inferior das barras em cinza intermediário) e área de conforto pelo modelo adaptativo (faixa cinza claro) na cidade de Recife, PE.



Fonte: Elaborado no software Climate Consultant 5.5 (UCLA, 2015) e por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

Gráfico 44- Taxa de radiação solar incidente [W/m^2] h, em Teresina/PI.

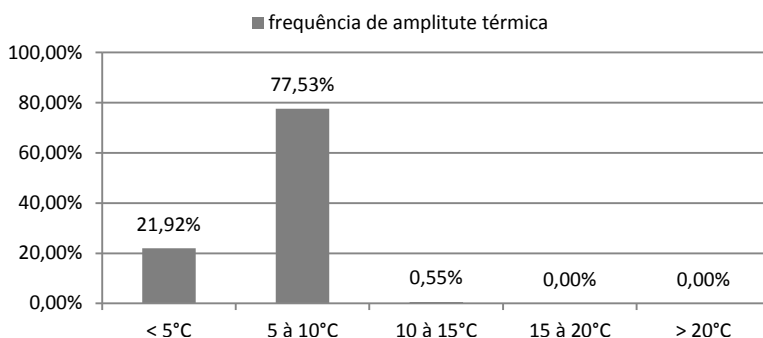


Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

Esta cidade apresenta, também, pequena amplitude térmica diária ao longo do ano, com quase um quinto dos dias com variação de temperatura abaixo de 5°C, e com quase a totalidade dos dias com variação de temperatura abaixo de 10°C (Gráfico 45 e Gráfico 46).

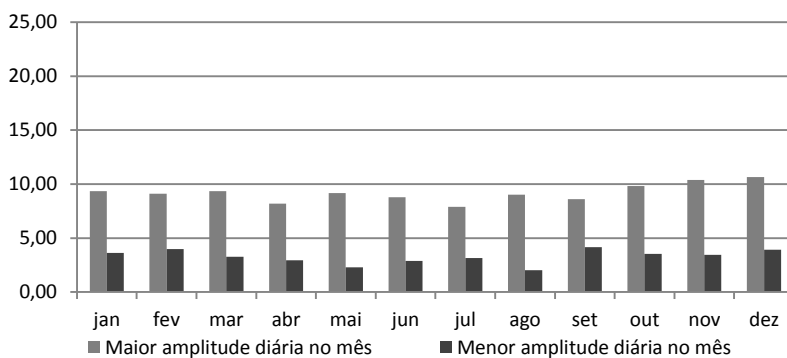
O município registra umidade relativa média do ar sempre acima dos 40%, e com média acima dos 60% (Gráfico 48), dificultando a ocorrência de grandes amplitudes térmicas diárias (Gráfico 47).

Gráfico 45- Frequência de amplitude térmica diária na cidade de Recife/PE.



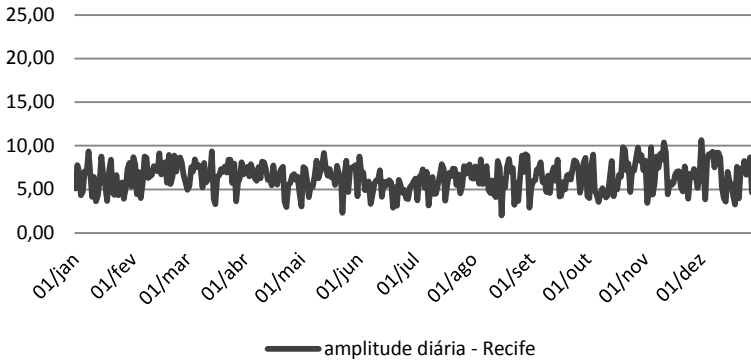
Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

Gráfico 46- Maiores e menores amplitudes térmicas diárias registradas em cada mês do ano na cidade de Recife/PE.



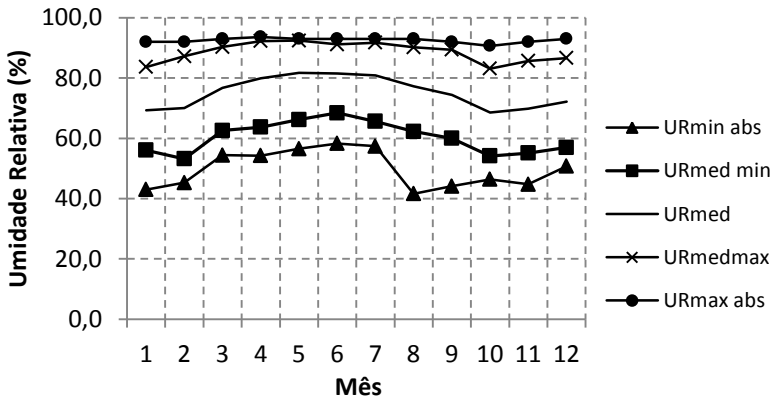
Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

Gráfico 47- Maiores e menores amplitudes térmicas diárias registradas em cada mês do ano na cidade de Recife/PE.



Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

Gráfico 48- Umidade relativa do ar ao longo do ano na cidade de Teresina, PI.



Fonte: Elaborado pelo autor por meio do arquivo EPW (LABEEE, 2016).

3.1.9 Síntese da caracterização climática

O Brasil, em suas oito zonas bioclimáticas (ABNT, 2005), apresenta grande diversidade climática. Estão presentes em seu território diferentes condições de temperaturas, amplitudes térmicas e umidade relativa do ar (Quadro 11).

Dentre todas, Curitiba (Zona bioclimática 1) e Santa Maria (Zona bioclimática 2) são aquelas que apresentam as mais baixas temperaturas, principalmente no inverno. São Paulo (Zona bioclimática 3), Brasília (Zona bioclimática 4), Vitória da Conquista (Zona bioclimática 5) e Campo Grande (Zona bioclimática 6), apesar de forma mais moderada, também as apresentam.

Por outro lado, Teresina (Zona bioclimática 7) é a que apresenta as maiores temperaturas, podendo atingir valores próximos de 40°C no mês de outubro.

Recife (Zona bioclimática 8) é a cidade que exibe menor amplitude térmica anual, com temperatura médias entre 25 e 30°C, assim como maior frequência de baixas amplitudes diárias, sendo quase somente registradas em suas condições climáticas valores inferiores a 10°C.

As demais cidades apresentam amplitudes térmicas diárias mais elevadas por registrarem ao longo do ano períodos de menor umidade relativa do ar. Destas cidades pode-se destacar Santa Maria, que apresenta, de forma mais pontual, variações de temperaturas do ar que podem superar os 20°C em um mesmo dia.

Santa Maria é, também, aquela que apresenta maior variação das condições climáticas ao longo do ano, com baixas temperaturas durante o inverno e altas temperaturas no verão.

Quadro 11 – Síntese das condições climáticas de cada cidade analisada.

ZB	Cidade	Condições climáticas
1	Curitiba	Temperaturas baixas no inverno e amenas no verão
2	Santa Maria	Temperaturas baixas no inverno e altas no verão Maiores amplitudes térmicas diárias e anuais
3	São Paulo	
4	Brasília	Temperaturas moderadamente baixas no inverno
5	Vitória da Conquista	e moderadamente altas no verão
6	Campo Grande	
7	Teresina	Temperaturas altas todo o ano
8	Recife	Temperaturas moderadamente altas todo o ano Menores amplitudes térmicas diárias e anuais

Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

3.2 DEFINIÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL

Para este estudo adotou-se o software EnergyPlus, versão 8.1 (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2014) para a execução das simulações computacionais. Cada modelo consiste na definição da geometria, cargas térmicas internas, propriedades dos materiais construtivos e padrões de uso e ocupação. Com o intuito de comparar o desempenho térmico anual dos ambientes, foram simulados os modelos apenas com a variação do sistema construtivo das paredes, tetos e telhados.

3.2.1 Geometria do modelo

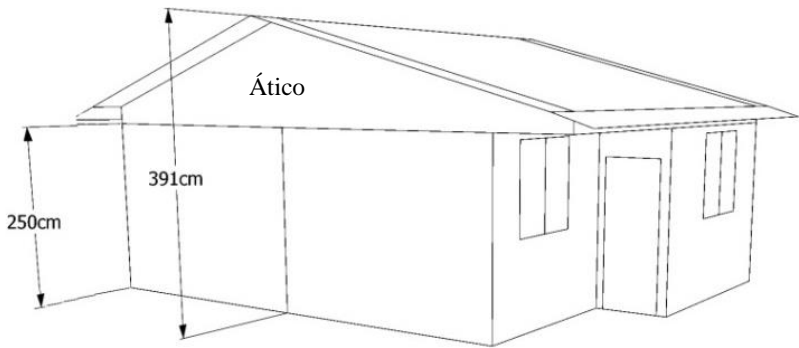
O modelo adotado consiste em uma edificação residencial unifamiliar térrea com 37,3 m² (Figura 32, Figura 33, Figura 34 e Figura 35), sendo composta de dois dormitórios (zonas térmicas 1 e 2); circulação, sala, cozinha (zona térmica 3); e banheiro (zona térmica 4).

Em ambos os dormitórios estão presentes janelas (1,44 m² de área) voltadas para o exterior da edificação. A troca de ar através das janelas ocorre em 50% de sua área, pois é composta por três folhas, sendo uma fixa e opaca, e outras duas móveis, sendo uma delas em vidro e a outra a veneziana com o propósito de sombrear sem impedir a ventilação.

Junto à circulação, os ambientes apresentam portas em madeira que permitem a ventilação cruzada.

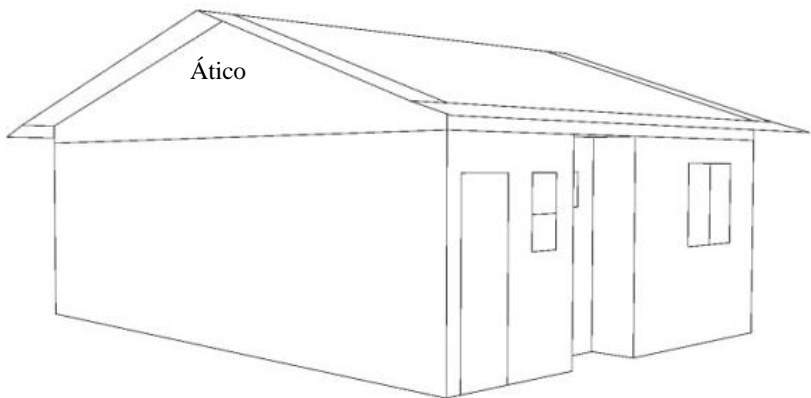
A sala apresenta janela com duas folhas de correr, de vidro com 1,44 m² e porta em madeira de acesso ao exterior da edificação. A cozinha apresenta janela máximo-ar em vidro de 0,32m², assim como porta de acesso ao exterior da edificação. No banheiro está presente uma porta de acesso ao mesmo junto à sala e uma janela máximo-ar em vidro com 0,16m² de área.

Figura 32- Perspectiva frontal da edificação simulada.



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Figura 33 - Perspectiva posterior da edificação simulada.



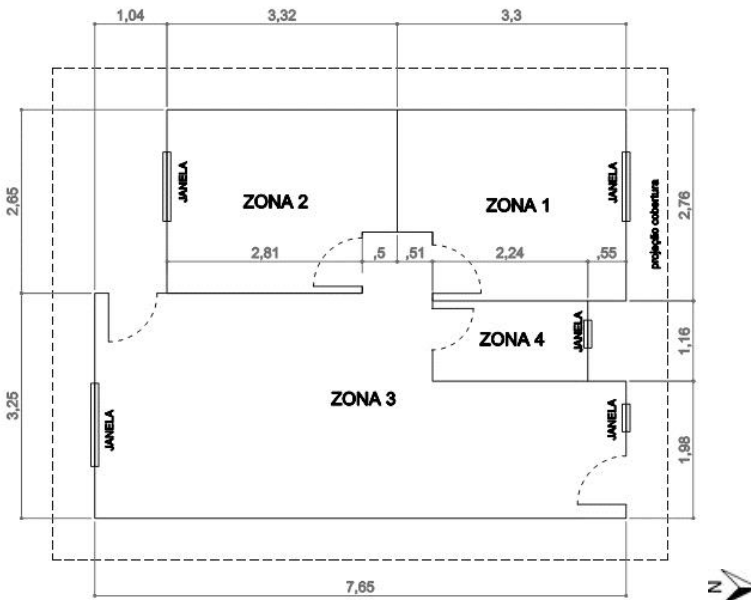
Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Figura 34- Planta baixa da edificação simulada.



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

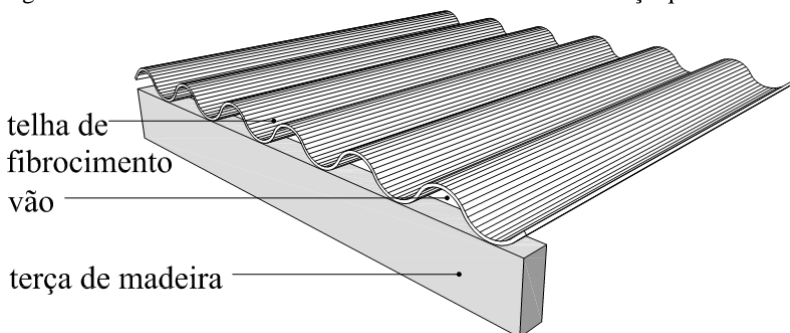
Figura 35- Zoneamento térmico da edificação simulada.



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Há um ático entre a laje e o telhado, caracterizado como uma área sem carga térmica interna, sem ocupação humana, preenchida somente de ar e ventilado por meio do vão entre a telha de fibrocimento e a terço que a sustenta (Figura 36), tal como indicado por Lamberts (1988).

Figura 36- Detalhe do vão entre a telha de fibrocimento e a terço que a sustenta.



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

3.2.2 Cargas térmicas internas

Foram adotados como cargas térmicas internas provenientes de iluminação, equipamentos e ocupação humana os valores mínimos indicados pelo RTQ-R (INMETRO, 2012).

Nas zonas térmicas 1 e 2 (dormitórios) foram aplicados os padrões de ocupação diários em porcentagem, de acordo com o Gráfico 49 e Gráfico 50, sendo a porcentagem de 100% no padrão de ocupação correspondente a duas pessoas com taxa metabólica de 81 W cada uma, conforme o Quadro 12. Na zona térmica 3 (sala e cozinha) considerou-se os valores apresentados na coluna de sala da mesma tabela, sendo a porcentagem de 100% no padrão de ocupação correspondente a quatro pessoas com taxa metabólica de 108 W cada uma.

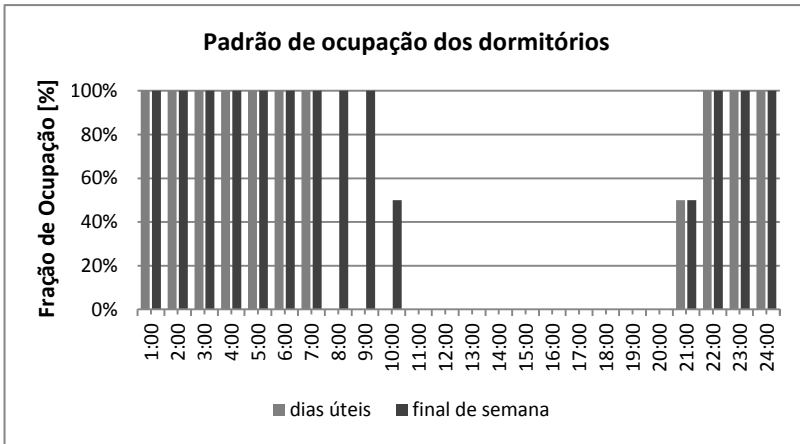
Para a zona térmica 4, que corresponde ao banheiro, não foram adotados padrões de ocupação, por não se caracterizar como um ambiente de permanência prolongada.

As cargas internas de equipamentos foram consideradas somente na zona 3, para a qual, por englobar a sala e a cozinha, estipulou-se 1,5 W/m² para equipamentos diversos, como mostra o Quadro 12, somadas a 50 W representando a potência média horária da geladeira.

Os padrões de uso de iluminação seguiram os valores percentuais inseridos no Gráfico 51 e Gráfico 52. Nos dormitórios, a porcentagem

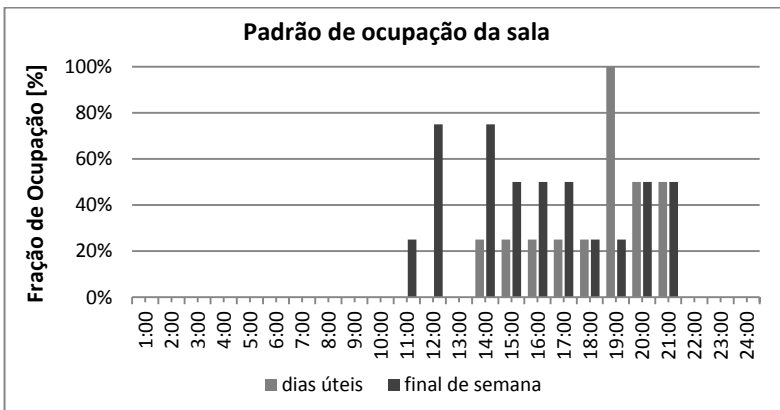
de 100% corresponde a 5 W/m² de densidade de potência instalada de iluminação. Na sala e na cozinha, a potência máxima corresponde a 6 W/m² (Quadro 12).

Gráfico 49- Padrão de ocupação dos dormitórios [%] para dias de semana e final de semana.



Fonte: Adaptado pelo autor de Tabela 3.41 do RTQ-R (INMETRO, 2012).

Gráfico 50- Padrão de ocupação da sala [%] para dias de semana e final de semana.



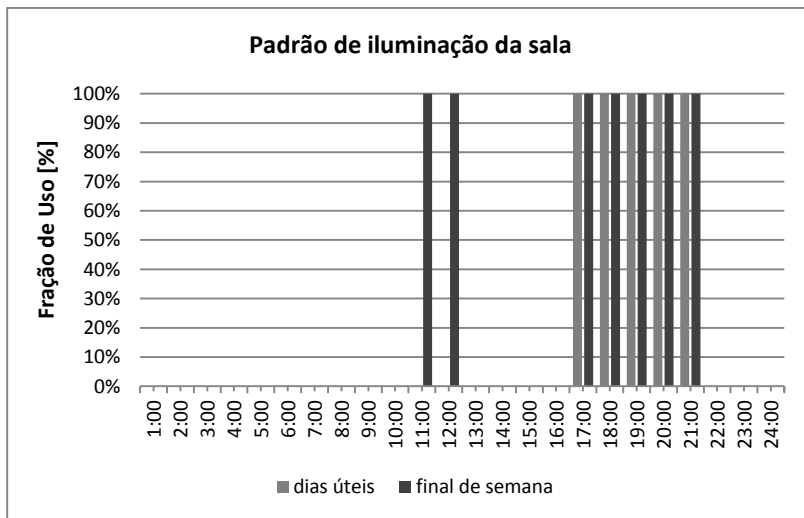
Fonte: Adaptado pelo autor de Tabela 3.41 do RTQ-R (INMETRO, 2012).

Gráfico 51- Padrão de uso da iluminação nos dormitórios [%] para dias de semana e final de semana.



Fonte: Adaptado pelo autor de Tabela 3.41 do RTQ-R (INMETRO, 2012).

Gráfico 52- Padrão de uso da iluminação na sala [%] para dias de semana e final de semana.



Fonte: Adaptado pelo autor de Tabela 3.41 do RTQ-R (INMETRO, 2012).

Quadro 12- Densidade de potência instalada de iluminação, cargas internas de equipamentos e taxas metabólicas para cada atividade adotadas para os dormitórios e a sala.

Ambiente	Densidade de potência instalada de iluminação (W/m ²)	Cargas internas de equipamentos (W/m ²)	Calor produzido para área de pele igual à 1,80 m ² (W)
Dormitório	5,0	-	81 (dormindo ou descansando)
Sala	6,0	1,5	108 (sentado ou assistindo TV)

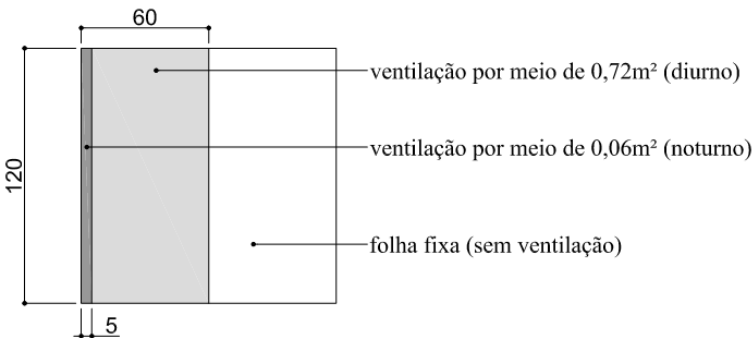
Fonte: Adaptado pelo autor do RTQ-R (INMETRO, 2012).

3.2.3 Regime de ventilação para HIS naturalmente ventilada

O regime de operação das janelas do modelo naturalmente ventilado (Gráfico 53) foi definido de forma a permitir a ventilação natural diurna (das 08h00min as 23h00min) através de 50 % da área de todas as janelas, e noturnas (das 23h00min às 08h00min) por meio de 4% de cada janela dos dormitórios (Figura 37), sempre que a temperatura interna superasse os 24°C e uma vez que a mesma estivesse acima da temperatura do ar externo.

O valor de 4% fora adotado, considerando uma abertura de 5 cm durante o período noturno por questões de privacidade do usuário.

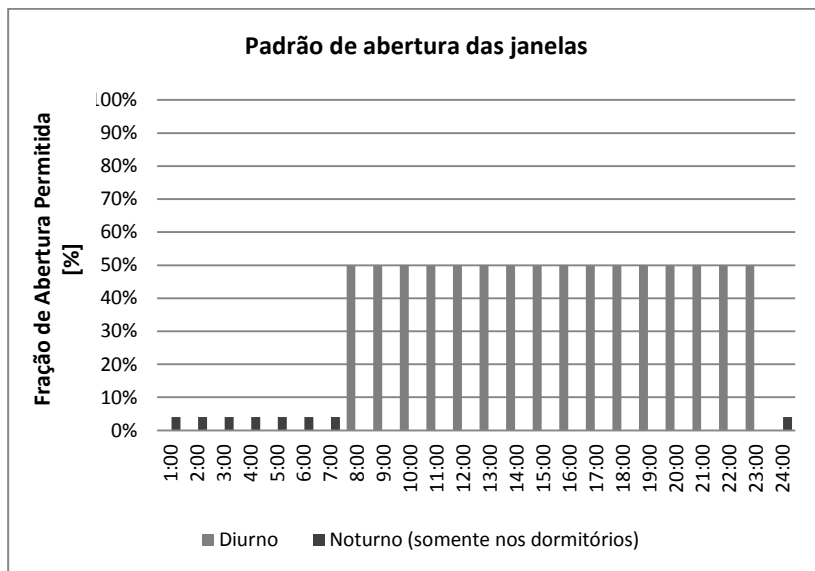
Figura 37- Esquema de área da janela que permitem a ventilação nos dormitórios. Medidas em centímetros.



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Foi também considerada uma infiltração de ar por meio de frestas, sempre que as janelas estivessem totalmente fechadas.

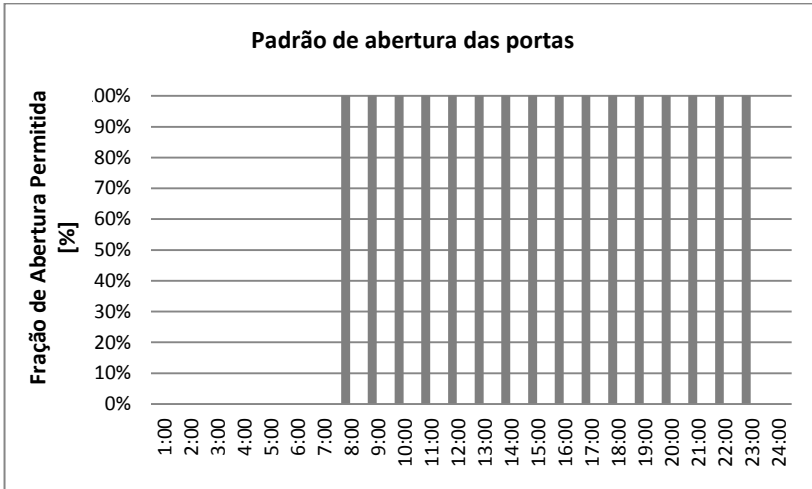
Gráfico 53- Padrão de abertura permitida para as janelas [%] para o modelo naturalmente ventilado. Somente em condições que a temperatura interna supera 24°C e que a mesma esteja acima da temperatura do ar externo.



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

As portas internas foram consideradas com um padrão de abertura (Gráfico 54) de forma a permitir a ventilação por meio de 100% de sua área no período diurno, e permanecendo sempre fechado no período noturno, permitindo a ventilação apenas pela fresta inferior. Já as porta externas, foram sempre consideradas fechadas.

Gráfico 54- Padrão de abertura permitida para as portas internas [%] para o modelo naturalmente ventilado. Somente em condições que a temperatura interna supera 24°C e que a mesma esteja acima da temperatura do ar externo.



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

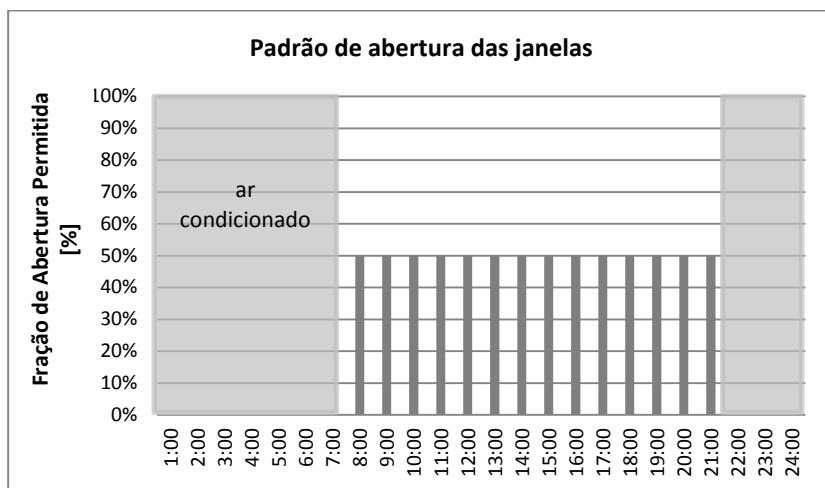
3.2.4 Regime de ventilação para HIS em sistema misto de condicionamento térmico

O regime de operação das janelas e portas internas do modelo simulado com a utilização de ar condicionado (Gráfico 55) foi definido de forma a permitir a ventilação natural durante o período das 8h00min até as 21h00min através de 50% da área da mesma, sempre que a temperatura interna superasse os 24°C e uma vez que a mesma estivesse acima da temperatura do ar externo.

Durante o período que se estende das 21h00min às 8h00min as janelas permaneceriam fechadas e com o sistema de ar condicionado ligado sempre que a temperatura do ar supera os 24°C, para resfriamento, ou estivesse inferior a 22°C, para aquecimento, conforme indicado pelo RTQ-R (INMETRO, 2012).

Assim como no modelo naturalmente ventilado, as portas internas para o modelo em sistema misto de condicionamento térmico foram consideradas abertas no período diurno e sempre fechadas no período noturno. As portas externas foram sempre consideradas fechadas.

Gráfico 55- Padrão de abertura das janelas [%] e de utilização de ar-condicionado para o modelo com condicionamento térmico misto.



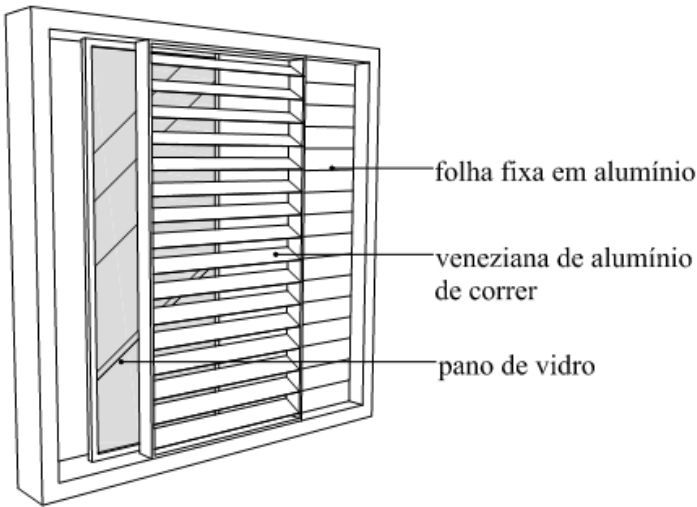
Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

3.2.5 Regime de proteção solar em esquadrias

Como recomendado na revisão bibliográfica, no intuito de evitar o excessivo ganho de calor por meio da radiação solar, foi considerada proteção solar para as janelas dos dormitórios.

Estas, compostas por uma folha fixa em alumínio, que não permite a entrada de radiação solar direta nem ventilação, assim como por uma veneziana de alumínio de correr que permite a ventilação ao mesmo tempo em que gera proteção contra a radiação solar, sendo acionada sempre que a radiação solar incidente tenha um valor igual ou superior a 300 W/m^2 .

Figura 38- Componentes das janelas dos dormitórios



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

3.2.6 Casos estudados

Para o estudo foram simulados 6 diferentes modelos de configuração da envoltória, sendo o primeiro (Caso 1), considerado o caso base, sem nenhuma aplicação de isolante térmico, no intuito de verificar, com a comparação dos resultados do mesmo com os demais, o impacto do uso de isolante térmico na edificação.





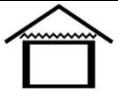

Foram separados os elementos de composição da edificação em 3 categorias: parede, teto e telhado. Em cada um destes elementos foi testado a implementação do isolante térmico segundo o esquema apresentado na Quadro 13.

Foi adotada a lã de vidro como isolante térmico por a mesma apresentar, se comparado a outros isolantes térmicos, segundo Papadopoulos (2004), boa resistência à umidade, fogo e danos biológicos, além de apresentar boa resistência térmica.

Para este estudo foi testado somente a lã de vidro com condutividade térmica de $0,042 \text{ W/(m.K)}$ e com espessura de 50 mm, por esta, segundo estudos apresentados na revisão bibliográfica e ensaios realizados pelo autor que se encontram no APÊNDICE A, maiores espessuras não trazerem grandes benefícios às condições

térmicas, uma vez que é disposta em espessuras maiores em condições climáticas semelhantes as apresentadas no Brasil.

Quadro 13- Casos simulados.

CASO	SÍMBOLO	PAREDE	TETO	TELHADO
1		Sem isolante	Sem isolante	Sem isolante
2		Com isolante	Sem isolante	Sem isolante
3		Sem isolante	Sem isolante	Com isolante
4		Com isolante	Sem isolante	Com isolante
5		Sem isolante	Com isolante	Sem isolante
6		Com isolante	Com isolante	Sem isolante

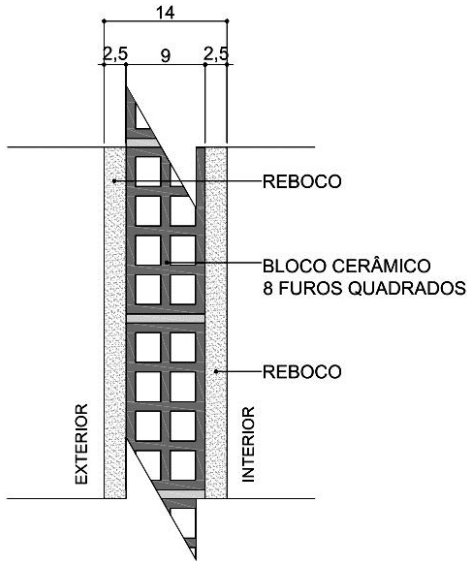
Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

3.2.7 Configurações de envoltória

As paredes da HIS foram concebidas em tijolo de 8 furos quadrados com revestimento de argamassa, considerado, segundo a NBR15220 (ABNT, 2005), um sistema leve de construção, mas dotado de capacidade térmica e resistência térmica superior aos padrões mínimos admissíveis pela NBR15575 (ABNT, 2013) para as 8 zonas bioclimáticas brasileiras (Figura 39 e Figura 40).

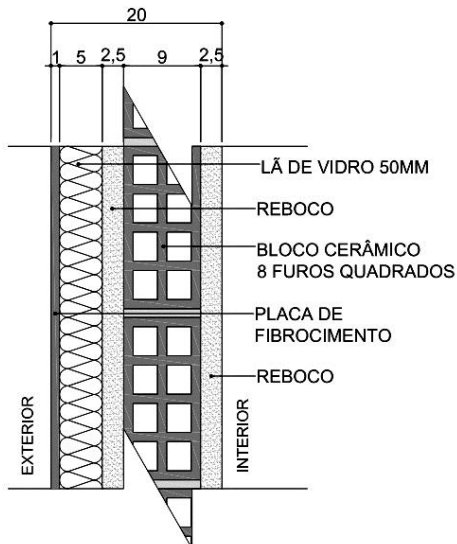
Para o estudo, as paredes externas foram ou não associadas à lã de vidro, e as paredes internas da edificação foram consideradas sem isolamento.

Figura 39- Configuração de parede em alvenaria sem isolamento.



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

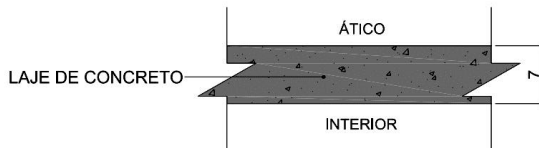
Figura 40- Configuração de parede em alvenaria com 50 mm de isolamento.



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

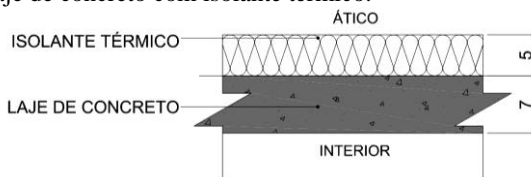
Os tetos da HIS foram considerados em laje de concreto, associado ou não a isolante térmico (Figura 41 e Figura 42).

Figura 41– Laje de concreto sem isolante térmico.



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

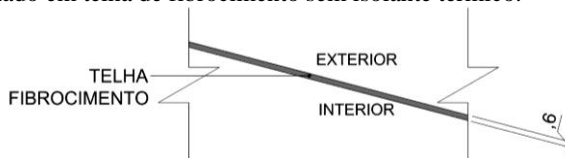
Figura 42– Laje de concreto com isolante térmico.



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

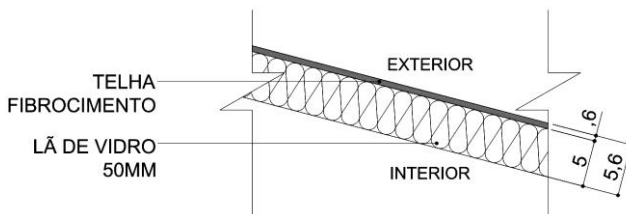
Os telhados foram considerados sempre em telha de fibrocimento de 6 mm de espessura somada ou não ao isolante térmico (Figura 43 e Figura 44).

Figura 43– Telhado em telha de fibrocimento sem isolante térmico.



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Figura 44– Telhado em telha de fibrocimento com 50 mm de isolante térmico.



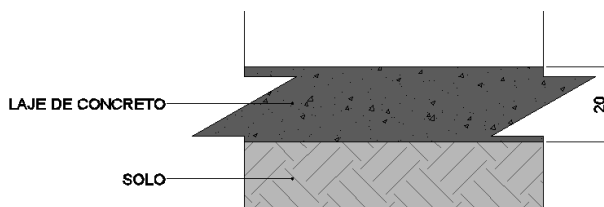
Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

3.2.8 Transferência de calor com o solo

Devido ao fato da edificação estudada ser térrea e em contato direto com o solo (Figura 45), a temperatura do mesmo influenciaria de forma considerável na temperatura dos ambientes, mesmo havendo uma laje de concreto os separando.

Para uma simulação mais precisa do comportamento térmico da edificação, seguindo recomendações do RTQ-R (INMETRO, 2012), foi utilizada a ferramenta *slab* no software EnergyPlus 8.1 (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2014), com o intuito de gerar um perfil de temperatura mensal para o solo em contato com a laje do piso.

Figura 45- Configuração da laje de piso no modelo.



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

3.2.9 Materiais construtivos

Para as simulações foram adotadas as características físicas de cada um dos materiais (Quadro 14, Quadro 15, Quadro 16, Quadro 17, Quadro 18, Quadro 19 e Quadro 20), utilizando-se como fontes de informação a NBR 15220, catálogos de fabricantes e o documento intitulado Metodologia Utilizada na Elaboração da Biblioteca de Materiais e Componentes Construtivos Brasileiros para Simulações no Visualdoe-3.1 de Ordenes et. al. (2003).

Quadro 14- Propriedades físicas dos materiais empregados no modelo.

Materials	Espessura (m)	λ (W/m.K)	Rt (m ² .K/W)	c (kJ/(kg.K))	ρ (kg/m ³)	Ct (kJ/(m ² .K))	α
Reboco	0,025	1,15	0,02	1,00	2000,00	50,00	0,20
bloco ceramico 8 furos quadrados*	0,01	0,90	0,02	0,92	2252,00	29,01	0,50
placa fibrocimento	0,01	0,95	0,01	0,84	1800,00	15,12	0,20
telha fibrocimento	0,006	0,95	0,01	0,84	1800,00	9,07	0,60
laje concreto (teto)	0,07	1,75	0,04	1,00	2200,00	154,00	0,50
laje concreto (piso)	0,20	1,75	0,11	1,00	2200,00	440,00	0,50
Madeira para portas	0,04	0,23	0,15	1,34	750,00	40,20	0,70
Chapa de alumínio	0,001	230,00	0,00	0,88	2700,00	2,38	0,05
lã de vidro 50mm	0,05	0,042	1,19	0,70	50,00	1,75	0,50
Camara de ar vertical alta emissividade acima de 50mm	-	-	0,17	-	-	-	-

*Espessura equivalente.

Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Quadro 15- Propriedades físicas do vidro empregado no modelo.

	Vidro CLEAR 3mm
Espessura (m)	0,003
Transmissão energética (%)	85
Reflexão energética externa (%)	7,5
Reflexão energética interna (%)	7,5
transmissão luminosa (%)	90
reflexão luminosa externa (%)	8
reflexão luminosa interna (%)	8
emissividade externa (admin.)	0,84
emissividade interna (admin.)	0,84
condutividade (W/m.K)	0,9

Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Quadro 16 - Propriedades físicas das paredes empregadas no modelo.

Parede	RT	U	CT
Alvenaria	0,41	2,41	158,01
Alvenaria+ lâ de vidro (50mm)	1,62	0,62	174,88

Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Quadro 17- Propriedades físicas das coberturas empregadas no modelo.

Cobertura	RT	U	CT
fibrocimento + laje	0,47	2,14	163,07
(fibrocimento +lâ de vidro)+ laje	1,77	0,57	163,25
fibrocimento +(laje + lâ de vidro)	1,77	0,57	163,25

Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Quadro 18 – Composição das paredes.

Elemento construtivo	Parede de alvenaria	Parede de alvenaria isol.
Camada externa	Reboco	Placa fibrocimento
Camada 1	Bloco ceramico 8 furos	Lã de vidro 50mm
Camada 2	Câmara de ar	Reboco
Camada 3	Bloco ceramico 8 furos	Bloco ceramico 8 furos
Camada 4	Reboco	Câmara de ar
Camada 5		Bloco ceramico 8 furos
Camada 6		Reboco

Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Quadro 19 – Composição dos tetos.

Elemento construtivo	Teto	Teto isolado
Camada externa	Laje concreto	Lã de vidro 50mm
Camada 1		Laje concreto

Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Quadro 20 – Composição dos telhados.

Elemento construtivo	Telhado	Telhado isolado
Camada externa	Telha fibrocimento	Telha fibrocimento
Camada 1		Lã de vidro 50mm

Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

3.2.10 Arquivos climáticos

Os dados climáticos foram utilizados nas simulações por meio de arquivos de extensão “.epw”, disponíveis no site <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2015> (LABEEE, 2016). Nestes arquivos são consideradas as condições climáticas de um ano típico (Temperatura do Ar, Umidade Relativa, Temperatura do Ponto de Orvalho, Pressão Atmosférica, Velocidade e Direção do Vento, Pluviosidade e Irradiância Global, Irradiâncias, Luminância no Zênite e Iluminâncias sobre o Plano Horizontal) para a localidade, que desta forma, possibilita por meio da simulação, uma análise do comportamento térmico da edificação sob as mesmas condições.

3.3 MÉTODO DE AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

O desempenho térmico da envoltória da edificação simulada foi avaliado pela eficiência energética, assim como horas de conforto. Para esta análise são avaliados o comportamento térmico de todos ambientes térreos da HIS com exceção do banheiro (zona 4), por este não ser um ambiente de permanência prolongada.

3.3.1 Horas de desconforto por frio e calor

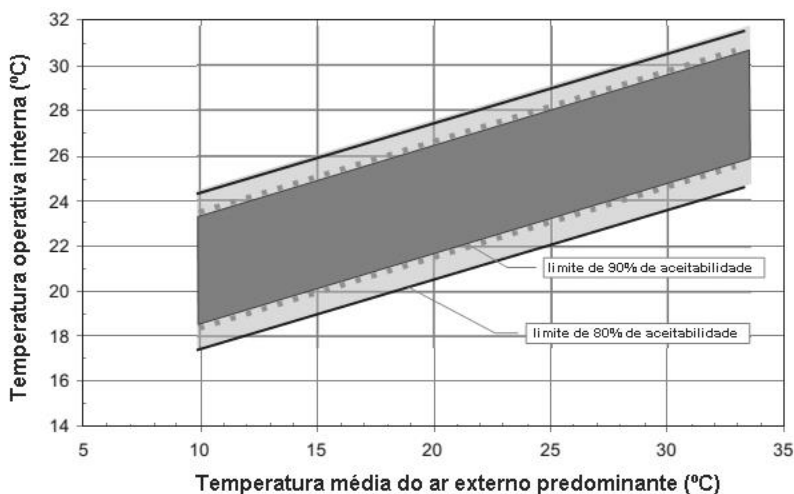
Foi adotado o modelo de conforto adaptativo (ASHRAE, 2010) para ambientes naturalmente ventilados para a determinação de horas de desconforto por calor e frio enquanto o modelo é considerado ocupado. Desta forma foi considerado o limite de 90% de aceitabilidade dos usuários com o intuito de verificar as condições de conforto térmico dos mesmos de forma mais crítica.

Para a aplicação deste modelo não deve existir qualquer dispositivo de condicionamento térmico artificial, os ocupantes devem apresentar somente atividades sedentária, com vestimentas com isolamento entre 0,5 e 1,0 *clo*, e com temperatura média predominante no exterior entre 10°C e 33,5°C.

A Figura 46 mostra as faixas de temperaturas operativas aceitáveis no interior de ambientes naturalmente ventilados de acordo com a ASHRAE STANDARD 55 (ASHRAE, 2010) em função das temperaturas médias predominantes no exterior dos últimos sete dias.

No software Energy Plus esta média é calculada a partir do arquivo climático especificado para a simulação, e sendo assim o mesmo é utilizado como indicador para a adaptação do ocupante às condições ao ar livre e determina a aceitabilidade de condições interiores. O modelo é responsável também por gerar a adaptação das vestimentas dentro dos ambientes internos, dentro do intervalo estipulado pela ASHRAE STANDARD 55.

Figura 46 - Faixa de temperatura operativa aceitável para ambientes naturalmente condicionados.



Fonte: ASHRAE 55(2010) modificado pelo autor.

3.3.2 Consumo energético

Para a determinação do consumo energético para aquecimento e resfriamento da HIS foram considerados aparelhos de ar condicionados do modelo *Split*, com COP=3,0W/W, nos dormitórios, sendo estes acionados, sempre que os ambientes apresentassem temperatura do ar acima de 24°C (resfriamento) e abaixo de 22°C (aquecimento) nos horários que os mesmos estivessem ocupados, conforme indicado pelo RTQ-R (INMETRO, 2012).

4 RESULTADOS

Nesse capítulo são apresentados os resultados das simulações computacionais de cada uma das configurações de envoltória sob as condições climáticas de cada uma das zonas bioclimáticas brasileiras por meio de gráficos de barra.

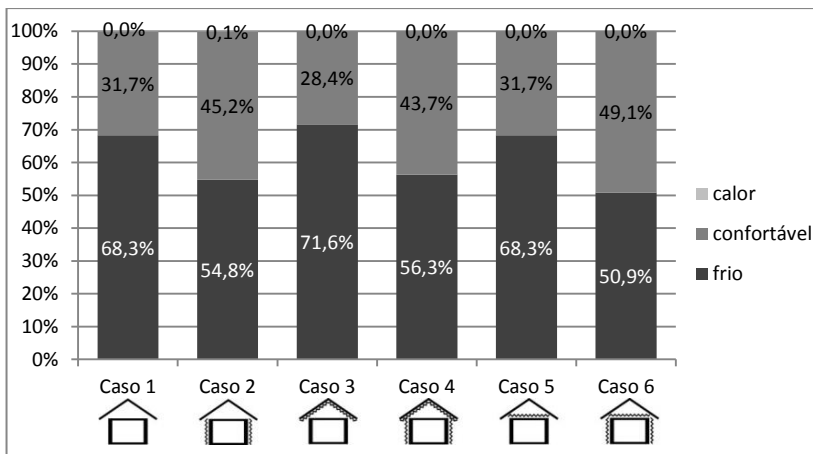
A análise é feita quanto a consumo total da HIS para aquecimento e resfriamento, e a porcentagem total de horas de desconforto por frio, calor, ou de conforto em seu interior.

Por fim são apresentados, de forma resumida em um quadro, os principais dados no intuito de se comparar, de forma mais generalizada, os resultados.

4.1 CURITIBA (ZONA BIOCLIMÁTICA 1)

Na cidade de Curitiba, a utilização do isolante térmico nas paredes de alvenaria e laje de concreto (Caso 6) possibilitou a obtenção dos melhores resultados dentre todas as situações estudadas, apresentando maior porcentagem de horas de conforto térmico e menor consumo de energia elétrica na HIS (Gráfico 56, Gráfico 57, Gráfico 58 e Gráfico 59).

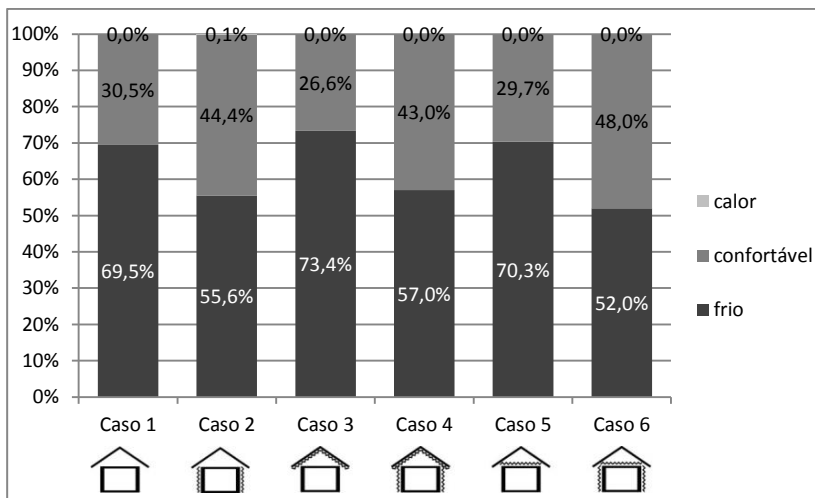
Gráfico 56- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano no dormitório sul em Curitiba/PR.



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

O Caso 4, cuja diferença do caso anterior se dá na utilização da lã de vidro junto ao telhado, ao invés de junto à laje de concreto, gerou resultados que apontam um pequeno aumento nas horas de desconforto por frio, assim como no consumo de energia elétrica para aquecimento. Este fenômeno ocorreu devido à maior perda de calor interno para o meio externo por meio da cobertura, uma vez que há infiltração de ar no ático.

Gráfico 57- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano no dormitório norte em Curitiba/PR.



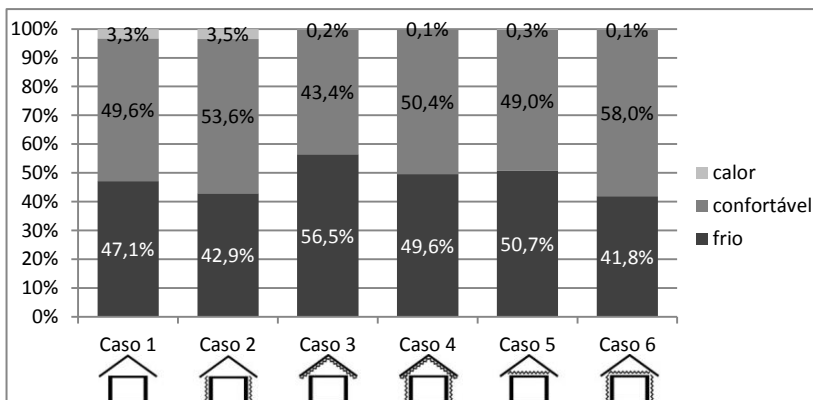
Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

O segundo melhor resultado para horas de conforto, e terceiro melhor resultado quanto a consumo energético foi o Caso 2, no qual somente as paredes são isoladas termicamente. Neste caso, ao permitir o ganho de calor por meio da cobertura durante o dia (APÊNDICE B), e a armazenagem de parte do mesmo por meio da capacidade térmica presente no sistema construtivo da HIS, houve reduzida porcentagem de horas de desconforto por frio.

No entanto, o mesmo caso, por apresentar menor resistência térmica na cobertura, possibilitou uma maior perda de calor interno para o meio externo.

Os piores resultados nas condições climáticas de Curitiba, quanto as horas de conforto térmico, foram aqueles que somente apresentavam a lâ de vidro junto à cobertura, seja rente à telha, ou à laje (Casos 3 e 5).

Gráfico 58- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano na sala/cozinha em Curitiba/PR.



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

A adoção de isolante apenas na cobertura (Casos 3 e 5) gerou resultados piores quanto a horas de conforto, até mesmo que o modelo sem qualquer uso de isolamento (Caso 1).

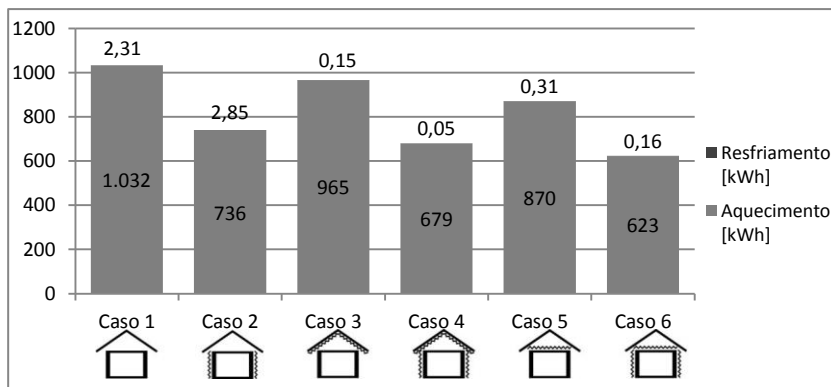
Isto se deu devido ao fato de a cobertura isolada impedir a entrada de calor proveniente da radiação solar por meio da mesma no modelo, assim como por a parede desprotegida facilitar a perda de calor do meio interno para o meio externo.

Por outro lado, o Caso 1, ao permitir uma maior troca de calor pela envoltória, foi aquele que apontou maior consumo de energia para aquecimento e resfriamento.

De modo geral, como pode se verificar no Quadro 21, dentre todos ambientes, a sala/cozinha foi o que apresentou melhores condições de conforto para todos os casos analisados. Tais resultados se confirmaram assim devido ao fato de terem sido analisadas as horas de conforto durante os períodos em que os ambientes estão ocupados. Como a sala/cozinha apresenta ocupação em períodos mais quentes do dia, se comparado com os dormitórios, assim como maior carga térmica interna, a mesma apontou menor incidência de horas de desconforto por frio.







Cabe ressaltar, no entanto, que foi este o único ambiente, pelos mesmos motivos, a apresentar, mesmo que em quantidade bastante reduzida, porcentagem de desconforto por calor.

Gráfico 59- Consumo energético total para aquecimento e resfriamento durante o ano na HIS em Curitiba/PR.



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Quadro 21– Desempenho do modelo sob cada uma das configurações quanto a conforto e eficiência energética. Quanto mais clara a cor do preenchimento, melhor o desempenho.

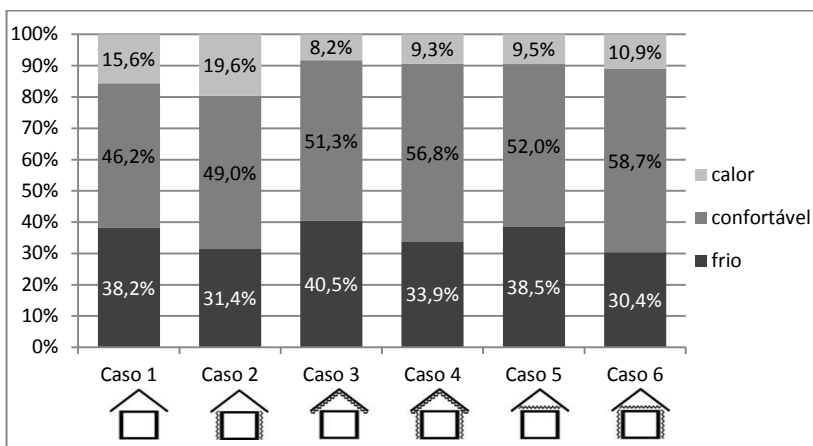
						
	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	Caso 6
Consumo Energético [kWh]	1034	739	965	679	870	623
Horas de conforto DS [%]	31,7%	45,2%	28,4%	43,7%	31,7%	49,1%
Horas de conforto DN [%]	30,5%	44,4%	26,6%	43,0%	29,7%	48,0%
Horas de conforto sala [%]	49,6%	53,6%	43,4%	50,4%	49,0%	58,0%

Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

4.2 SANTA MARIA (ZONA BIOCLIMÁTICA 2)

Em Santa Maria, assim como ocorrido em Curitiba, o Caso 6 (isolante no teto e nas paredes) foi o que apontou os melhores resultados, tanto para horas de conforto térmico, quanto para consumo energético (Gráfico 60, Gráfico 61, Gráfico 62 e Gráfico 63).

Gráfico 60- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano no dormitório sul em Santa Maria/RS.



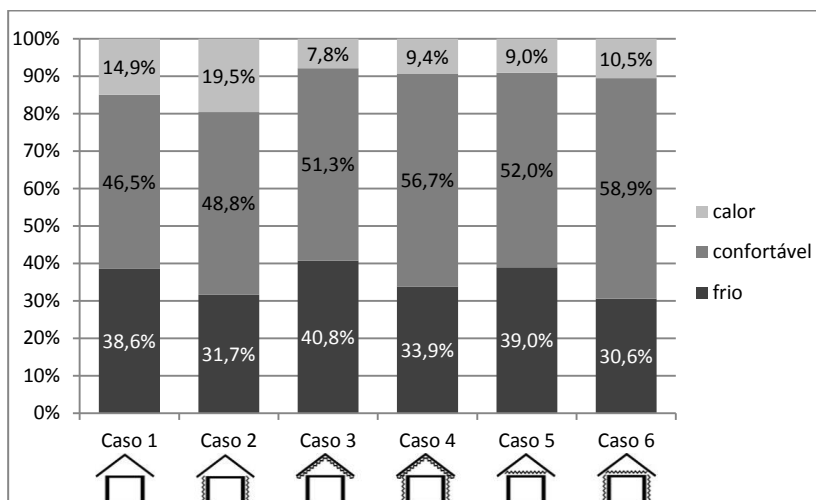
Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Valores muito semelhantes foram atingidos pelo Caso 4 (isolante no telhado e nas paredes), confirmando-se, assim, benéfica a adoção de isolante térmico em toda envoltória da HIS.

Os resultados dos Casos 3 e 5, nos quais o isolante térmico aparece aplicado somente à cobertura, apontaram uma grande eficácia em reduzir o desconforto por calor. No entanto, os mesmos apresentaram as maiores porcentagem de horas de desconforto por frio entre todos os casos, gerando também um grande consumo energético para aquecimento.

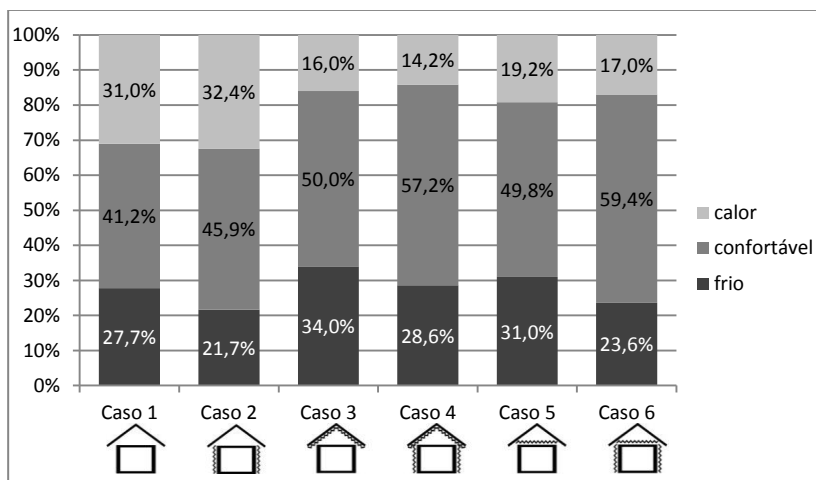
Nestes casos, a menor transmitância térmica da cobertura impede o ganho de calor por meio da radiação solar, enquanto que a maior transmitância térmica das paredes facilita a perda de calor dos ambientes internos para o meio externo.

Gráfico 61- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano no dormitório norte em Santa Maria/RS.



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Gráfico 62 - Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano na sala/cozinha em Santa Maria/RS.

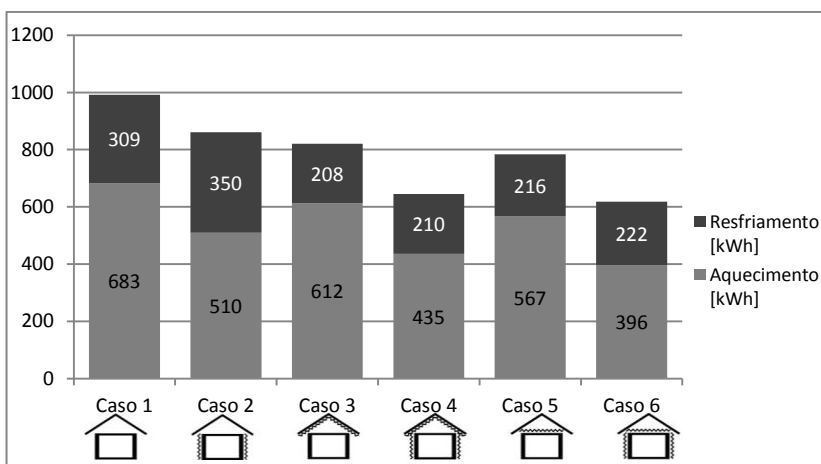


Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Apesar de o Caso 2 apresentar uma das menores porcentagens de desconforto por frio, foi o que apresentou as maiores porcentagens de horas de desconforto por calor e de consumo energético para resfriamento. Tal evento ocorre devido à grande facilidade em se ganhar calor por meio da cobertura e da dificuldade em perdê-la por meio das paredes, ocasionada pelas configurações das mesmas.

É importante salientar, assim como já explanado na caracterização climática, que mesmo a cidade de Santa Maria apresentando grandes condições de desconforto por frio, há alta incidência de desconforto por calor, se comparada com Curitiba, isso torna menos conveniente o ganho de calor do meio externo para o meio interno, principalmente nos períodos mais quentes do ano.

Gráfico 63- Consumo energético total para aquecimento e resfriamento durante o ano na HIS em Santa Maria/RS.



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

O Caso 1, sem a incorporação de isolamento térmico em qualquer elemento construtivo da HIS, foi o que apontou, de forma geral, as piores condições de conforto e de consumo energético. Tal ocorrência se deu devido ao fato de que sob tal envoltória, a HIS tornou-se muito vulnerável as condições climáticas externas, que se apresentam de forma extrema, seja no período mais quente do ano, seja no mais frio.







Por fim, como é possível verificar no Quadro 22, a sala/cozinha foi o ambiente com menor porcentagem de horas de conforto térmico,

sob quase todas as configurações de envoltória à qual foi submetido, tendo como exceção os Casos 4 e 6.

Este ambiente, por apresentar maior carga térmica interna e ocupação em períodos mais quentes do dia, exibiu maiores porcentagens de desconforto por calor e menores por frio, como mostra o Gráfico 62.

Portanto, nos casos nos quais há isolamento em toda envoltória, houve uma redução maior no desconforto por frio, do que no aumento de desconforto por calor, aumentando desta forma a porcentagem de horas de conforto neste ambiente.

Quadro 22– Desempenho do modelo sob cada uma das configurações quanto a conforto e eficiência energética. Quanto mais clara a cor do preenchimento, melhor o desempenho.

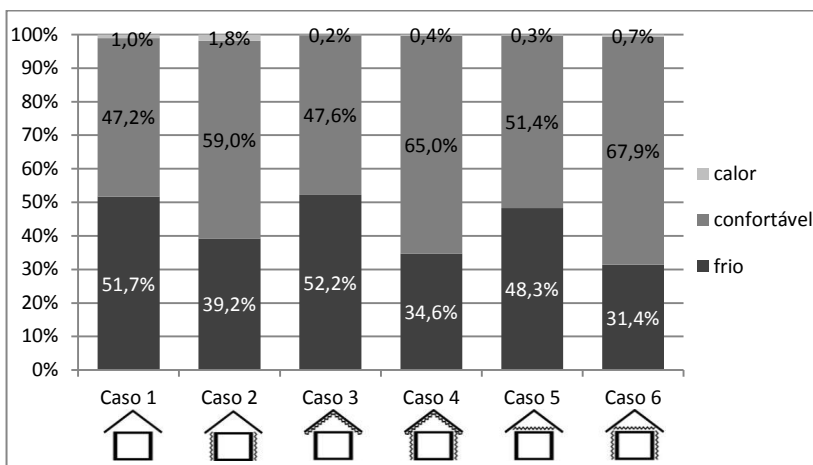
	 Caso 1	 Caso 2	 Caso 3	 Caso 4	 Caso 5	 Caso 6
Consumo Energético [kWh]	992	860	820	645	783	618
Horas de conforto DS [%]	46,2%	49,0%	51,3%	56,8%	52,0%	58,7%
Horas de conforto DN [%]	46,5%	48,8%	51,3%	56,7%	52,0%	58,9%
Horas de conforto sala [%]	41,2%	45,9%	50,0%	57,2%	49,8%	59,4%

Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

4.3 SÃO PAULO (ZONA BIOCLIMÁTICA 3)

Em São Paulo, os Casos 4 e 6 foram os que apresentaram os melhores resultados seja na porcentagem de horas de conforto térmico, seja na eficiência energética (Gráfico 64, Gráfico 65, Gráfico 66 e Gráfico 67).

Gráfico 64- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano no dormitório sul em São Paulo/SP.



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

No entanto, o Caso 6 obteve de forma bastante sutil o menor consumo de energia, assim como as maiores porcentagens de horas de conforto. A principal diferença deste para o Caso 4 se deu quanto à redução de horas de desconforto por frio, assim como de energia consumida para aquecimento.

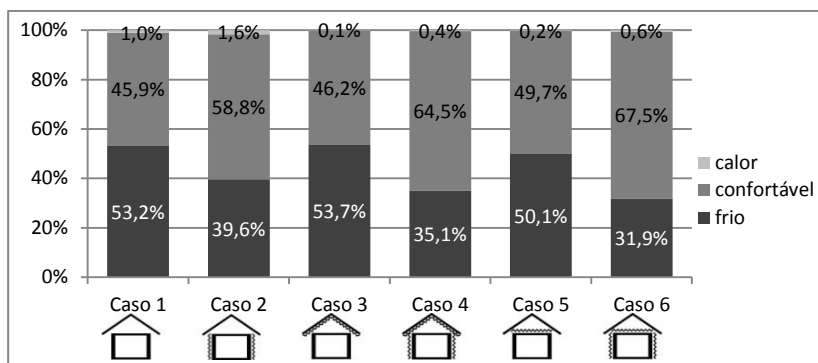
Assim como já exposto anteriormente, no Caso 4 a infiltração de ar no ático contribuiu para a perda de calor do meio interno para o meio externo, uma vez que o isolante térmico é aplicado junto à telha.

Nos dormitórios, devido à lã de vidro estar somente aplicada na cobertura dos Casos 3 e 5, se apresentam as menores porcentagens de desconforto por calor. No entanto, as mesmas configurações de envoltória contribuem para alta porcentagem de horas de desconforto por frio, o que não se torna benéfico para as condições climáticas de São

Paulo, uma vez que a mesma apresenta grande incidência de horas de desconforto por frio.

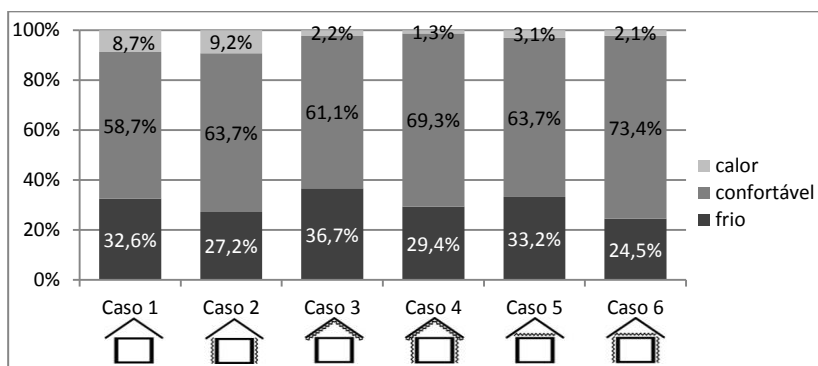
Já quando analisamos os resultados obtidos para a sala/cozinha (Gráfico 66), não se mostram tão negativos, por este ambiente ser ocupado no período mais quente do dia, ser dotado da maior carga térmica interna, e apresentar reduzida porcentagem de horas de desconforto por frio.

Gráfico 65- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano no dormitório norte em São Paulo/SP.



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Gráfico 66- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano na sala/cozinha em São Paulo/SP.

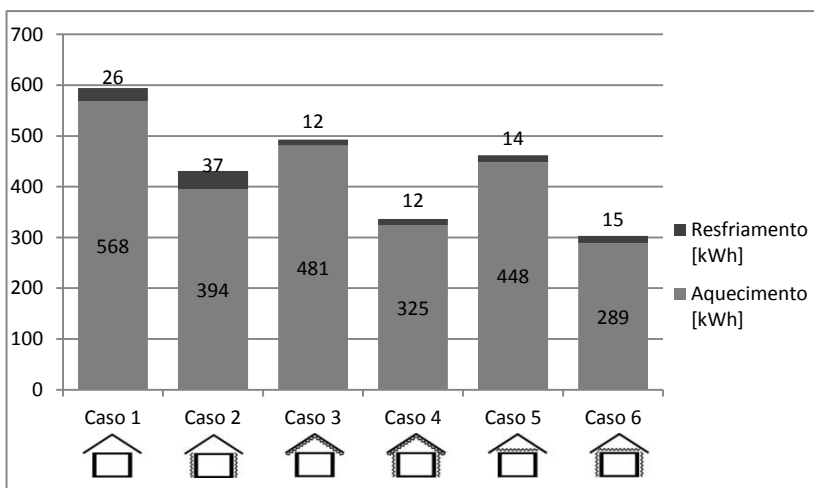


Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

O Caso 2 é o que apresentou a maior porcentagem de horas de desconforto por calor ao longo do ano. No entanto, o mesmo exibiu baixas porcentagens de desconforto por frio, sendo estas semelhantes a dos Casos 4 e 6.

Desta forma, verifica-se que o Caso 2 (com isolante apenas nas paredes), mostrou-se muito mais benéfico em São Paulo do que em Santa Maria. Este fenômeno ocorreu devido ao fato de que em São Paulo apresentarem-se menos condições de calor durante o ano.

Gráfico 67- Consumo energético total para aquecimento e resfriamento durante o ano na HIS em São Paulo/SP.









Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Os piores resultados foram encontrados no Caso 1, comprovando se que o uso de isolante térmico foi benéfico tanto no acréscimo de horas de conforto, como na redução de consumo energético.

Cabe ressaltar, que assim como ocorrido nas condições climáticas de Curitiba, em São Paulo a sala/cozinha foi o ambiente que apresentou maior porcentagem de horas de conforto térmico, como pode se verificar no Quadro 23.

Como a sala/cozinha apresenta ocupação em períodos mais quentes do dia e maior carga térmica interna, a mesma apontou menor incidência de horas de desconforto por frio (Gráfico 66), sendo este responsável por maior parte do desconforto em São Paulo.

Quadro 23– Desempenho do modelo sob cada uma das configurações quanto à conforto e eficiência energética. Quanto mais clara a cor do preenchimento, melhor o desempenho.

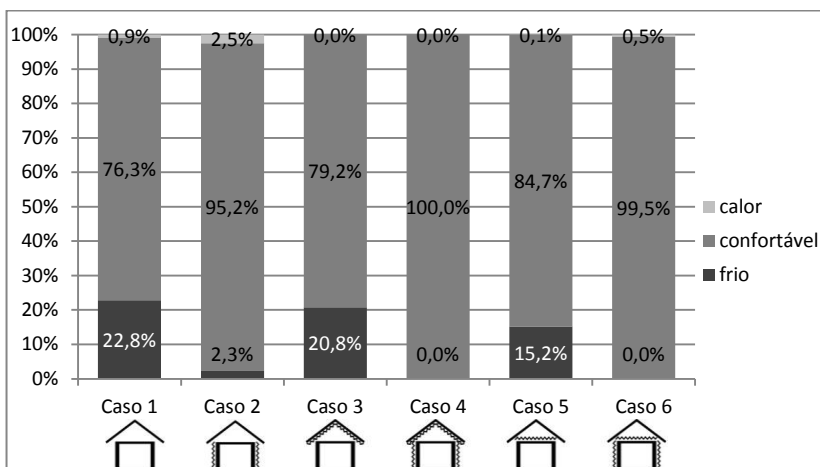
	 Caso 1	 Caso 2	 Caso 3	 Caso 4	 Caso 5	 Caso 6
Consumo Energético [kWh]	594	431	493	336	462	303
Horas de conforto DS [%]	47,2%	59,0%	47,6%	65,0%	51,4%	67,9%
Horas de conforto DN [%]	45,9%	58,8%	46,2%	64,5%	49,7%	67,5%
Horas de conforto sala [%]	58,7%	63,7%	61,1%	69,3%	63,7%	73,4%

Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

4.4 BRASÍLIA (ZONA BIOCLIMÁTICA 4)

Na cidade de Brasília, a exemplo das cidades já apresentadas, os casos nos quais há o uso do isolante térmico na cobertura e nas paredes, foram aqueles que apresentaram os melhores resultados (Gráfico 68, Gráfico 69, Gráfico 70 e Gráfico 71).

Gráfico 68- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano no dormitório sul em Brasília/DF.



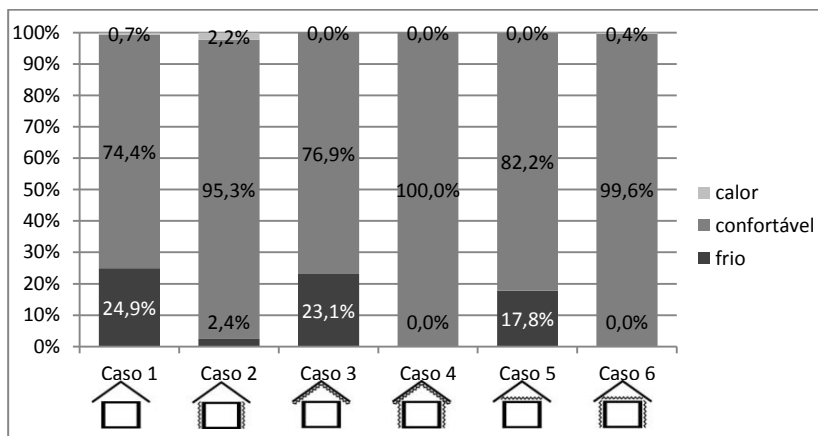
Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

O Caso 4 (isolamento no telhado e nas paredes) proporcionou aos ambientes internos as melhores condições de conforto térmico, eliminando qualquer desconforto por frio ou calor nos dormitórios. Exibindo também baixas condições de desconforto por calor na sala/cozinha.

Por outro lado, a envoltória adotada no Caso 6 (isolamento no teto e nas paredes), contribuiu para o mais baixo consumo de energia elétrica dentre todos os casos, ao reduzir a necessidade de aquecimento artificial.

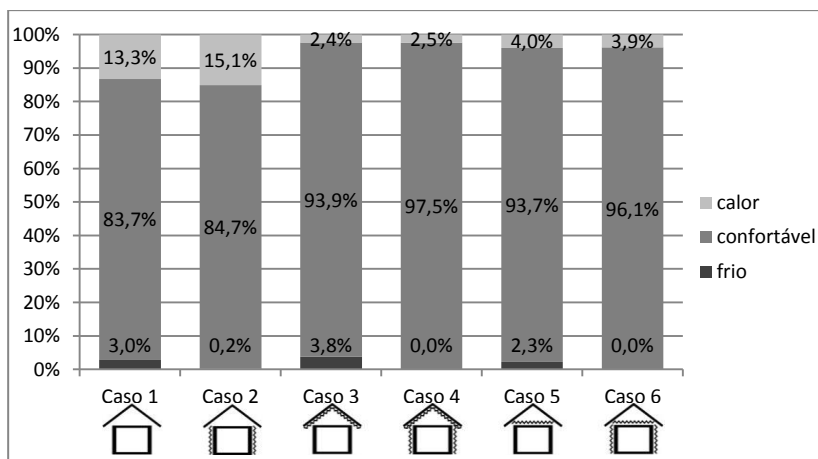
Desta forma, foi possível notar que ao se isolar a telha, permitindo uma maior troca de calor do meio interno com o externo por meio da infiltração de ar no ático (Gráfico 72 e Gráfico 73), gerou-se uma maior demanda de aquecimento para a envoltória do Caso 4, com relação ao Caso 6.

Gráfico 69- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano no dormitório norte em Brasília/DF.



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Gráfico 70- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano na sala/cozinha norte em Brasília/DF.



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

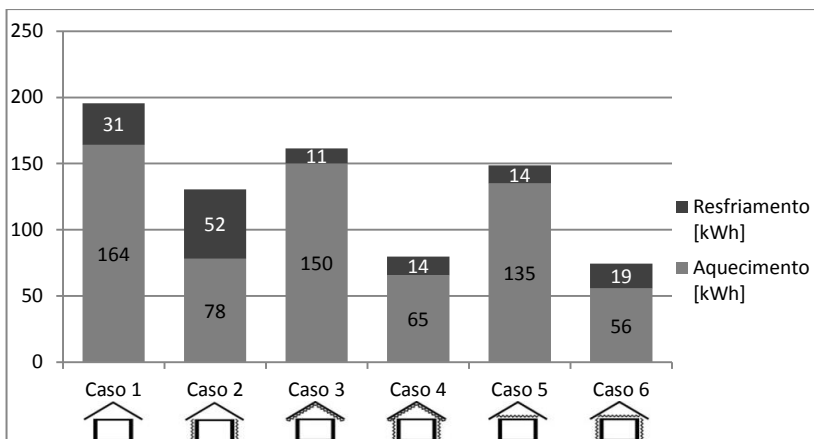
Apesar de apresentar baixa incidência de horas de desconforto por frio, o Caso 2 foi aquele que apresentou a maior porcentagem de horas de desconforto por calor, o que faz com que sejam menores, de forma sutil, as condições de conforto nos dormitórios, se comparado com os Casos 4 e 6.

Tal fenômeno ocorre devido à maior transmitância térmica da cobertura, que permite a entrada de calor proveniente da radiação solar, e da menor transmitância das paredes, que dificulta a perda do calor interno.

Torna-se mais clara tal afirmação quando se analisa as horas de conforto na sala/cozinha (Gráfico 69 e Quadro 24), que tem a ocupação em período mais quente do dia, e cuja carga térmica interna é mais alta.

Os Casos 3 e 5, por outro lado, apresentaram porcentagem baixa de horas de desconforto por calor. No entanto, as envoltórias dos mesmos contribuíram para uma alta porcentagem de desconforto por frio. Os mesmos casos comprovam que ao se isolar somente a cobertura, há uma alta demanda por aquecimento artificial (Gráfico 71).

Gráfico 71- Consumo energético total para aquecimento e resfriamento durante o ano na HIS em Brasília/DF.









Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

De forma geral, mesmo na pior das condições, o uso de isolante térmico, seja na cobertura, ou nas paredes, contribuiu para as condições

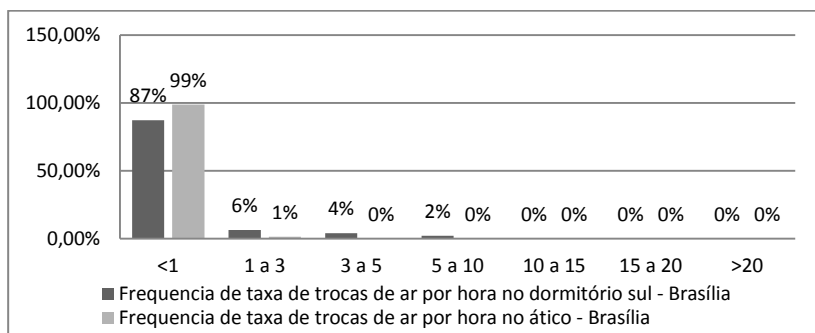
de conforto térmico interno, assim como para uma maior eficiência energética, uma vez que o Caso 1, cuja envoltória não fora isolada em nenhum dos elementos, obteve os piores resultados na cidade de Brasília.

Quadro 24– Desempenho do modelo sob cada uma das configurações quanto a conforto e eficiência energética. Quanto mais clara a cor do preenchimento, melhor o desempenho.

						
	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	Caso 6
Consumo Energético [kWh]	196	130	161	80	149	74
Horas de conforto DS [%]	76,3%	95,2%	79,2%	100,0%	84,7%	99,5%
Horas de conforto DN [%]	74,4%	95,3%	76,9%	100,0%	82,2%	99,6%
Horas de conforto sala [%]	83,7%	84,7%	93,9%	97,5%	93,7%	96,1%

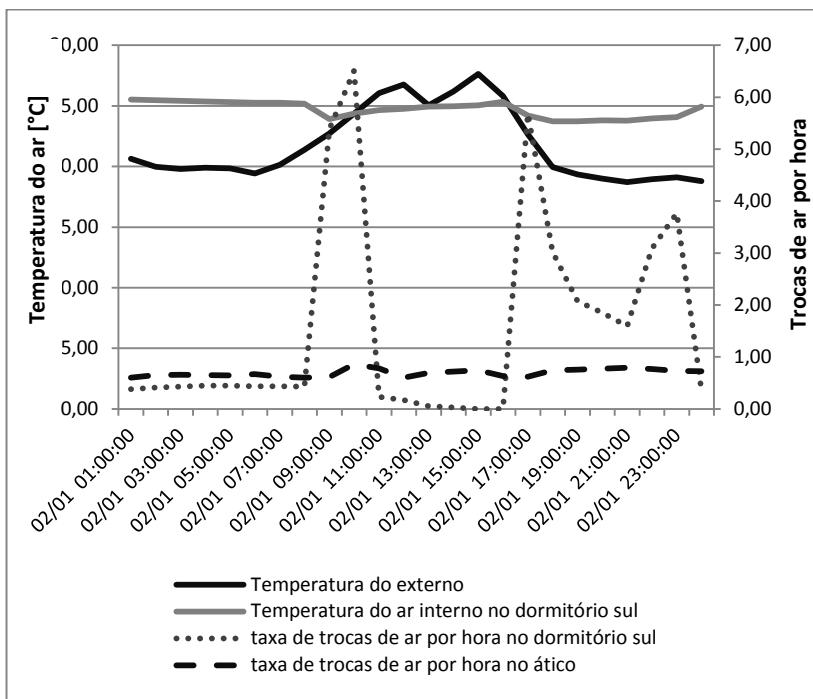
Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Gráfico 72- Frequência de taxa de trocas de ar por hora no dormitório sul e ático para o Caso 4 em Brasília/DF



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Gráfico 73 – Trocas de ar no dormitório sul e ático e temperaturas do ar no dormitório sul e externo para o Caso 4 em Brasília/DF.

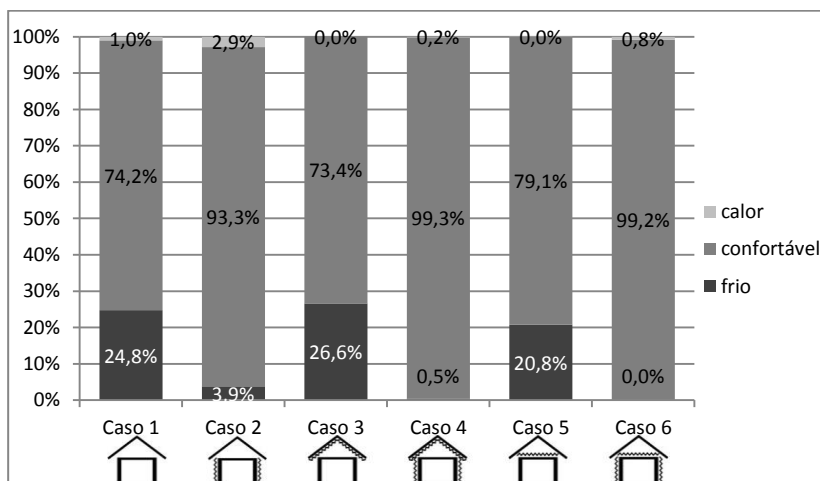


Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

4.5 VITÓRIA DA CONQUISTA (ZONA BIOCLIMÁTICA 5)

Assim como na cidade de Brasília, em Vitória da Conquista o Caso 4 (isolante no telhado e nas paredes) foi o que apresentou as melhores condições de conforto térmico, seguido pelo Caso 6 (isolante no teto e nas paredes), sendo os resultados de ambos os casos bastante semelhantes (Gráfico 74, Gráfico 75 e Gráfico 76).

Gráfico 74- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano no dormitório sul em Vitória da Conquista/BA.



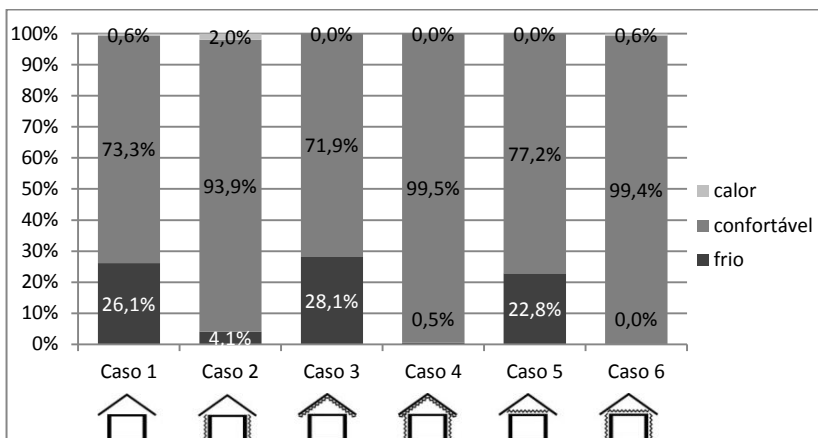
Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

O Caso 6 foi o que teve o menor consumo energético, seguido pelo Caso 4 (Gráfico 77). Assim como ocorrido nas condições climáticas de Brasília, a diferença entre os resultados dos dois casos se deu devido ao fato de o Caso 6 proporcionar menor troca de calor com o meio externo, tornando-o mais eficiente do ponto de vista energético.

Pode-se afirmar, a partir de tais dados, que o uso de isolante térmico tanto nas paredes quanto na cobertura foi a estratégia que trouxe os melhores benefícios.

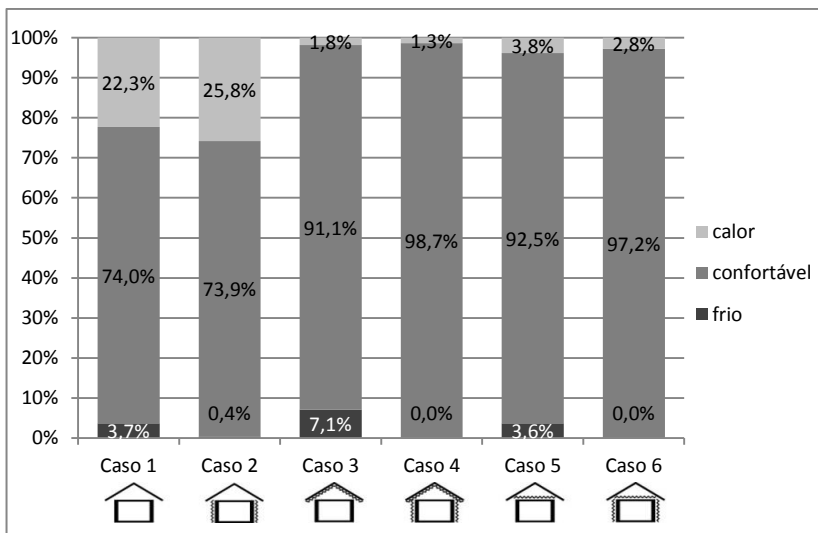
O Caso 2, apesar de apresentar reduzida porcentagem de horas de desconforto por frio, foi o que apresentou a maior porcentagem de horas de desconforto por calor.

Gráfico 75- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano no dormitório norte em Vitória da Conquista/BA.



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Gráfico 76- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano no dormitório norte em Vitória da Conquista/BA.

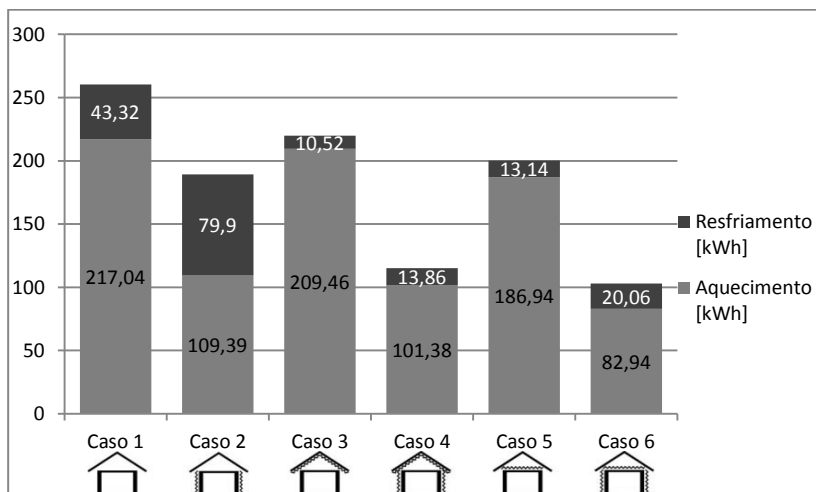


Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

O Caso 3 foi o que apresentou as piores condições de conforto térmico nos dormitórios, exibindo principalmente grande porcentagem de horas de desconforto por frio. Isto ocorreu, pois Vitória da Conquista é dotada de clima no qual é mais comum o desconforto por frio do que por calor durante a noite. Ao se adotar a cobertura isolada, impediu-se a entrada de calor por meio da radiação solar na principal superfície e facilitou-se a perda de calor pelas paredes.

Os resultados da sala/cozinha, como se pode verificar no Quadro 25, não seguiram os dos dormitórios, por a mesma ser ocupada durante os períodos mais quentes do dia, onde naturalmente é bastante reduzida a porcentagem de horas de desconforto por frio.







Gráfico 77- Consumo energético total para aquecimento e resfriamento durante o ano na HIS em Vitória da Conquista/BA.



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

O Caso 1 foi aquele que apresentou o maior consumo de energia para condicionamento térmico, e uma das menores porcentagens de horas de conforto.

Quadro 25– Desempenho do modelo sob cada uma das configurações quanto a conforto e eficiência energética. Quanto mais clara a cor do preenchimento, melhor o desempenho.

	 Caso 1	 Caso 2	 Caso 3	 Caso 4	 Caso 5	 Caso 6
Consumo Energético [kWh]	260	189	220	115	200	103
Horas de conforto DS [%]	74,2%	93,3%	73,4%	99,3%	79,1%	99,2%
Horas de conforto DN [%]	73,3%	93,9%	71,9%	99,5%	77,2%	99,4%
Horas de conforto sala [%]	74,0%	73,9%	91,1%	98,7%	92,5%	97,2%

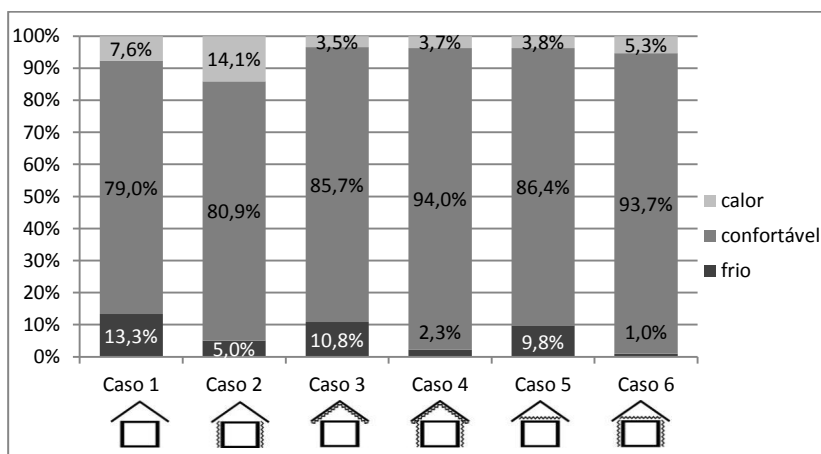
Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

4.6 CAMPO GRANDE (ZONA BIOCLIMÁTICA 6)

Como apontam o Gráfico 78, o Gráfico 79 e o Gráfico 80, na cidade de Campo Grande os Casos 4 e 6 foram os que apresentaram, de forma bastante similar os melhores resultados no que se refere à porcentagem de horas de conforto térmico. O Caso 4 obteve maior êxito em diminuir a porcentagem de horas de desconforto por calor e o Caso 6 em reduzir a porcentagem de horas de desconforto por frio.

Isso ocorreu devido ao fato de a lã de vidro disposta junto à telha, no Caso 4, permitir uma maior perda de calor por meio do ático, e o mesmo material posicionado junto à laje, Caso 6, não permitir essa perda.

Gráfico 78- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano no dormitório sul em Campo Grande/MS.



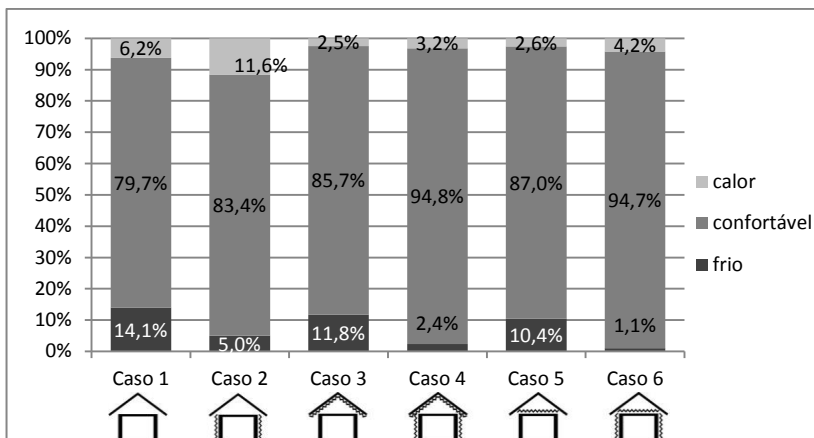
Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Apesar de esses dois casos apontarem um consumo energético baixo (Gráfico 81) se comparado com os Casos 1 e 2, foi o caso 5 o que apontou o menor consumo energético dentre todos. Isto se deu devido ao baixo consumo para resfriamento, mesmo com a ocorrência de um consumo alto de energia para aquecimento.

Desta forma, houve grande impacto da redução de consumo para resfriamento no total, pois proporcionalmente há mais necessidade de resfriamento do que de aquecimento na HIS nas condições climáticas de

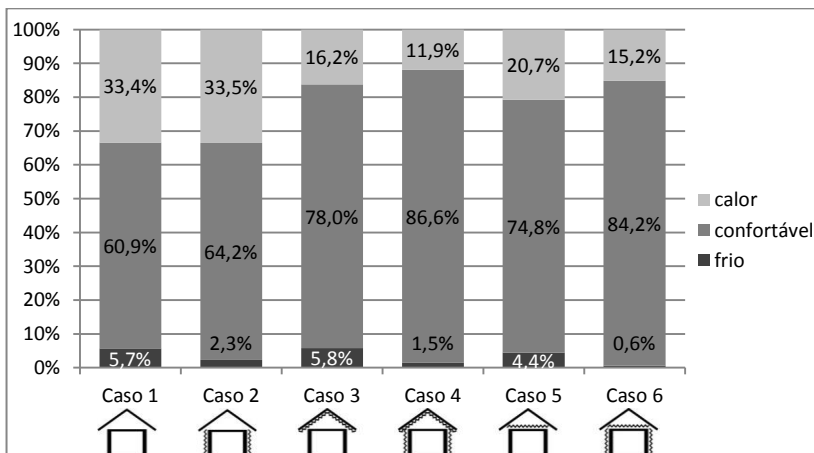
Campo Grande, algo que não havia ocorrido nas demais cidades analisadas anteriormente.

Gráfico 79- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano no dormitório norte em Campo Grande/MS.



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Gráfico 80- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano na sala/cozinha em Campo Grande/MS.



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

O Caso 1 foi aquele que apresentou as piores condições de conforto térmico, exibindo, nos dormitórios, as maiores porcentagens de horas de desconforto por frio.

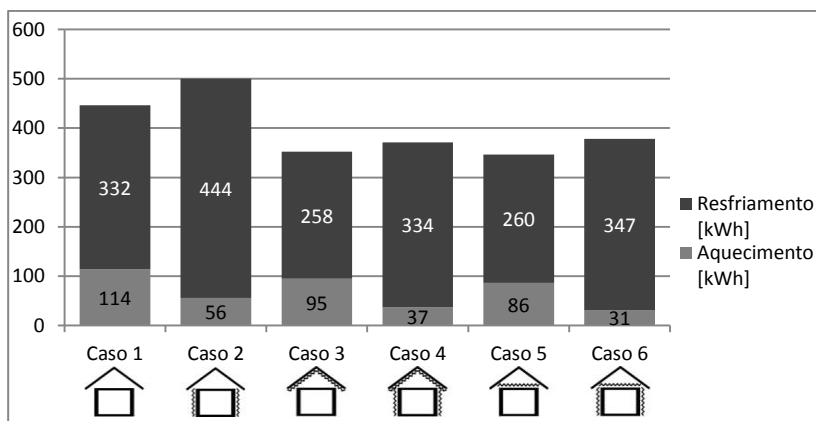
O uso de isolante somente nas paredes, no Caso 2, proporcionou o maior consumo de energia para o condicionamento do ar, impulsionado principalmente pela necessidade de resfriamento no modelo.

Devido às suas características de ocupação e de carga térmica interna, a sala/cozinha, assim como mostra o Gráfico 80, apresentou maiores condições de desconforto por calor, contribuindo assim, para este ser o ambiente com menor porcentagem de horas de conforto na HIS, como é exibido pelo Quadro 26.

Deve-se ressaltar, portanto, que para as condições climáticas de Campo Grande, os indicadores de eficiência energética e de conforto não se mostraram tão convergentes como nas condições climáticas anteriormente exploradas.







Ao se ter adotado o modelo adaptativo de conforto, no qual é tomado um intervalo de temperaturas operativas que varia de acordo com a temperatura média predominante do exterior, e o *set point* do ar-condicionado programado de forma estática, ocorre esta divergência entre os indicadores de desempenho para conforto térmico e eficiência energética.

Gráfico 81- Consumo energético total para aquecimento e resfriamento durante o ano na HIS em Campo Grande/MS.



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Quadro 26– Desempenho do modelo sob cada uma das configurações quanto a conforto e eficiência energética. Quanto mais clara a cor do preenchimento, melhor o desempenho.

	 Caso 1	 Caso 2	 Caso 3	 Caso 4	 Caso 5	 Caso 6
Consumo Energético [kWh]	446	500	352	371	346	379
Horas de conforto DS [%]	79,0%	80,9%	85,7%	94,0%	86,4%	93,7%
Horas de conforto DN [%]	79,7%	83,4%	85,7%	94,4%	87,0%	94,7%
Horas de conforto sala [%]	60,9%	64,2%	78,0%	86,6%	74,8%	84,2%

Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

4.7 TERESINA (ZONA BIOCLIMÁTICA 7)

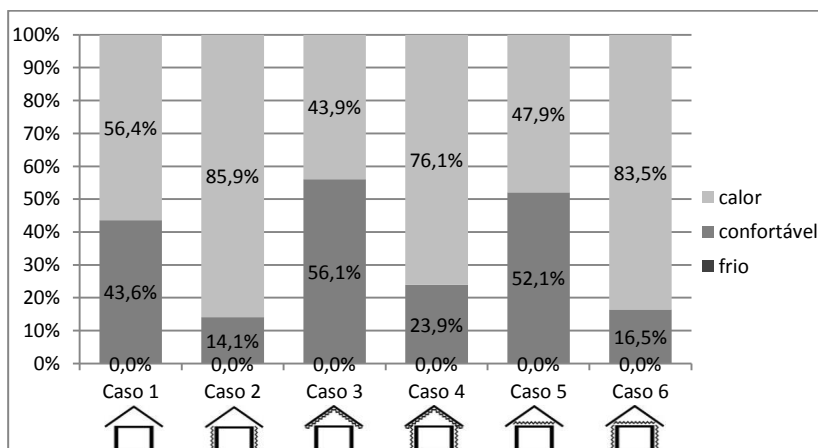
No clima da cidade de Teresina, as condições de desconforto são somente observadas por calor em qualquer dos casos na HIS.

Desse modo, as configurações da envoltória que dificultam a entrada de calor por meio da radiação solar na cobertura, superfície de maior ganho, são aquelas que obtiveram os melhores resultados, seja em porcentagem de horas de conforto, seja em eficiência energética (Gráfico 82, Gráfico 83, Gráfico 84 e Gráfico 85).

Os Casos 3 e 5, por serem dotados de maior resistência térmica na cobertura, e de menor resistência térmica nas paredes, naturalmente apresentaram os maiores benefícios.

O Caso 3, ao se evitar o ganho de calor pela cobertura e proporcionar a perda no mesmo pelas paredes e ático, apresentou maior porcentagem de horas de conforto e o Caso 5, por evitar o ganho de calor pela cobertura e evitar a troca de calor por meio do ático, exibiu maior eficiência energética.

Gráfico 82- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano no dormitório sul em Teresina/PI.



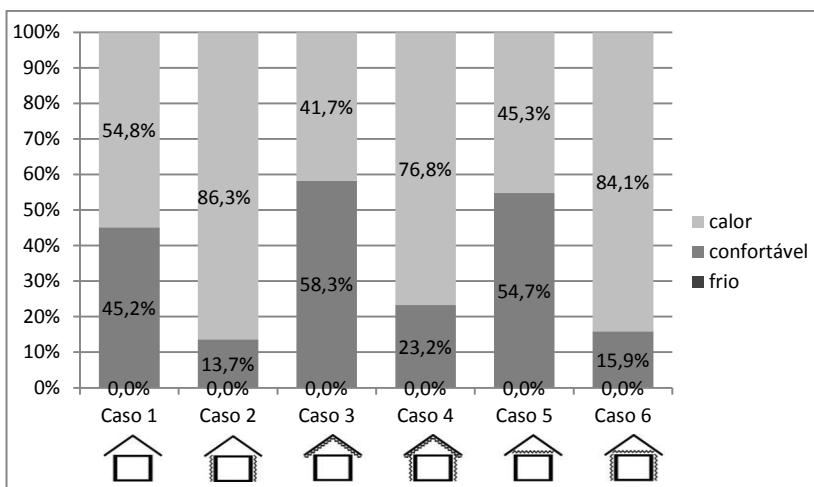
Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Por outro lado, o uso da lã de vidro nas paredes se mostrou desfavorável, seja esta acompanhada ou não do seu uso na cobertura,

uma vez que os Casos 2, 4 e 6 são os que apresentam menor porcentagem de horas de conforto nos dormitórios.

O Caso 2 se destacou por apresentar as piores condições de conforto térmico e de eficiência energética, uma vez que sua configuração de envoltória permite um grande ganho de calor por meio da radiação solar na cobertura, e impede a perda de calor interno para o meio externo pela parede.

Gráfico 83- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano no dormitório norte em Teresina/PI.



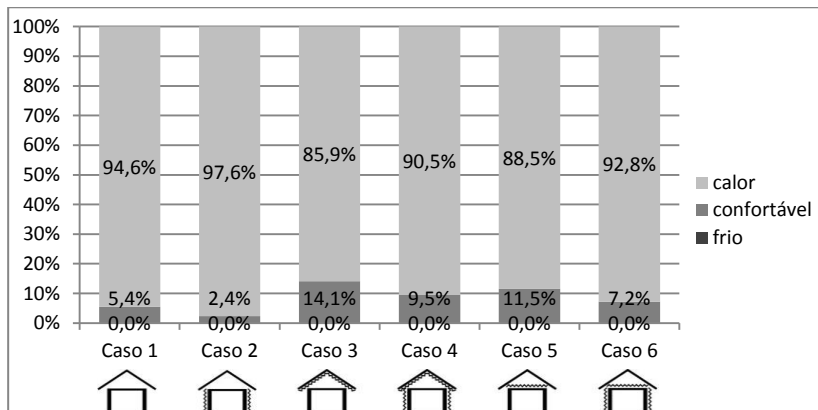
Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Para o caso em que não houve a utilização de isolante térmico na cobertura ou parede (Caso 1), é possível observar que os resultados de horas de conforto foram em sua maior parte melhores que os Casos 2, 4 e 6. A exceção coube aos resultados da sala/cozinha, que por seu período de ocupação predominantemente diurno, exibiu alta quantidade de desconforto por calor, uma vez que há maior troca de calor com o meio externo, estando assim mais suscetível a essas condições.

Desta forma, assim como ocorreu em Campo Grande, este ambiente apresentou as piores condições de conforto para todos os casos analisados. No entanto, em Teresina a diferença de porcentagem deste para os dormitórios foi bastante acentuada (Quadro 27).

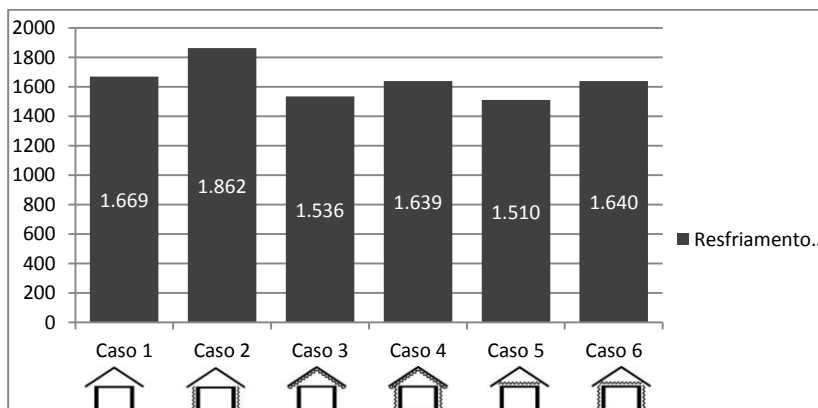
Tal discrepância verifica-se, por as condições climáticas desta cidade apresentar grande ocorrência de altas temperaturas e consequente desconforto por calor, principalmente nos períodos em que a sala/cozinha é ocupada.

Gráfico 84- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano na sala/cozinha em Teresina/PI.









Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Gráfico 85- Consumo energético total para aquecimento e resfriamento durante o ano na HIS em Teresina/PI.



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Quadro 27– Desempenho do modelo sob cada uma das configurações quanto a conforto e eficiência energética. Quanto mais clara a cor do preenchimento, melhor o desempenho.

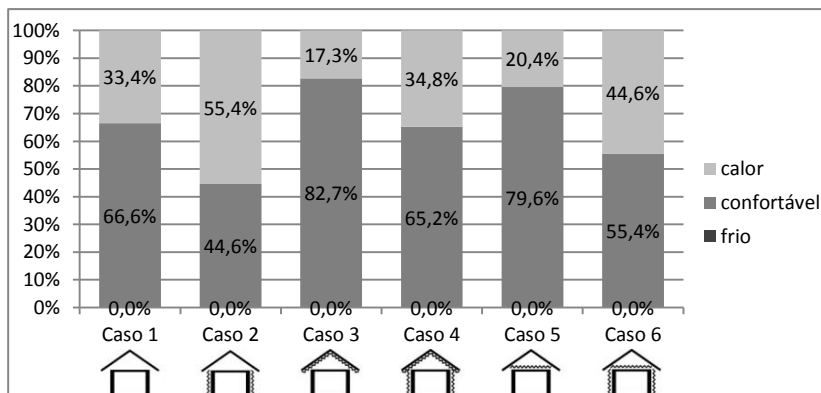
	 Caso 1	 Caso 2	 Caso 3	 Caso 4	 Caso 5	 Caso 6
Consumo Energético [kWh]	1669	1862	1536	1639	1510	1640
Horas de conforto DS [%]	43,6%	14,1%	56,1%	23,9%	52,1%	16,5%
Horas de conforto DN [%]	45,2%	13,7%	58,3%	23,2%	54,7%	15,9%
Horas de conforto sala [%]	5,4%	2,4%	14,1%	9,5%	11,5%	7,2%

Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

4.8 RECIFE (ZONA BIOCLIMÁTICA 8)

O Caso 3 é, dentre todos os casos, aquele que apresentou os melhores resultados, seja por menor consumo energético, seja por porcentagem de horas de conforto térmico nas condições climáticas de Recife (Gráfico 86, Gráfico 87, Gráfico 88 e Gráfico 89). Tal desempenho se deu devido à configuração da envoltória que dificultou a entrada de calor por meio da radiação solar, e permitindo a troca de calor para o meio externo por meio das paredes e do ático.

Gráfico 86- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano no dormitório sul em Recife/PE.

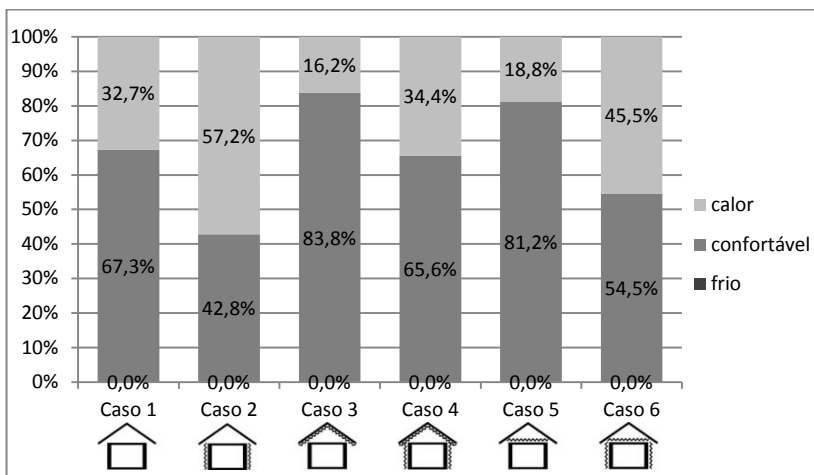


Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Apesar de também apresentar bons resultados, o Caso 5 teve como diferencial quanto ao Caso 3 o fato de dificultar a perda de calor pela laje para o ático, uma vez que o isolante está disposto sobre a laje que divide o mesmo e os demais ambientes.

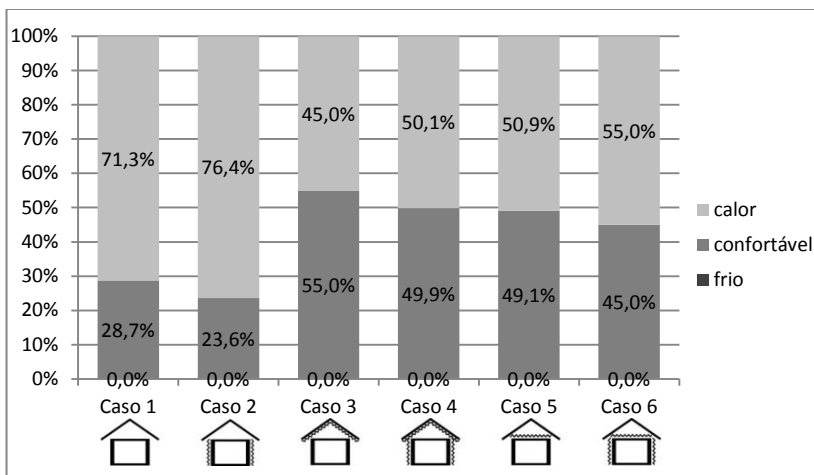
Os Casos 4 e 6 obtiveram desempenho intermediário, isto porque apesar de dificultar a entrada de calor proveniente da radiação solar por meio da cobertura, suas paredes dotadas de baixa transmitância térmica também dificultam a perda da carga interna de calor para o meio externo.

Gráfico 87- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano no dormitório norte em Recife/PE.



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Gráfico 88- Porcentagem de horas de conforto e desconforto por frio e calor durante o ano na sala/cozinha em Recife/PE.

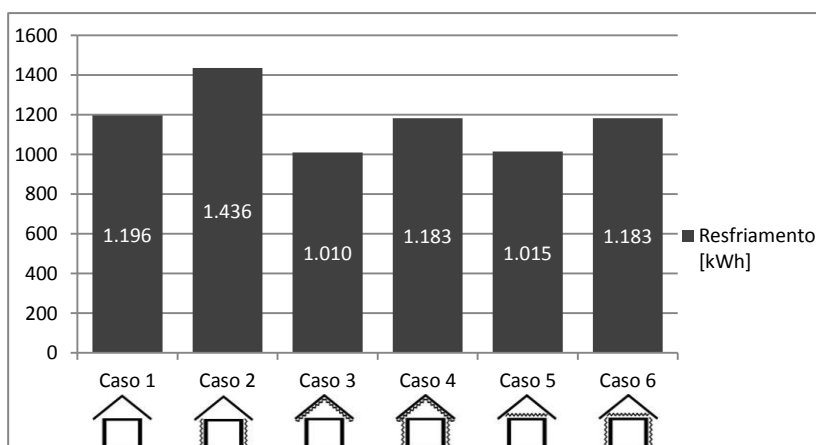


Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Por facilitar a troca de calor com o meio externo, seja pela cobertura, seja pelas paredes, o Caso 1 obteve resultados com a segunda maior incidência de desconforto por calor e o segundo maior consumo de energia, uma vez que é o mais suscetível às condições climáticas externas.

Já a envoltória do Caso 2 mostrou-se a pior de todas, ao permitir a entrada de calor resultante da radiação solar por meio da cobertura e dificultar a perda de calor do meio interno para o externo.

Gráfico 89 - Consumo energético para aquecimento e resfriamento durante o ano na HIS em Recife/PE.









Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Em Recife, assim como ocorrera na cidade de Teresina, a sala/cozinha foi o ambiente que apresentou, de forma bastante acentuada, as piores condições de conforto para todos os casos analisados (Quadro 28), apresentando alta porcentagem de desconforto por calor (Gráfico 88).

A ocorrência de altas temperaturas e consequente desconforto por calor nos períodos em que a sala/cozinha é ocupada, além da maior carga térmica interna, foram os causadores desta disparidade.

Quadro 28– Desempenho do modelo sob cada uma das configurações quanto a conforto e eficiência energética. Quanto mais clara a cor do preenchimento, melhor o desempenho.

	 Caso 1	 Caso 2	 Caso 3	 Caso 4	 Caso 5	 Caso 6
Consumo Energético [kWh]	1196	1436	1010	1183	1015	1183
Horas de conforto DS [%]	66,6%	44,6%	82,7%	65,2%	79,6%	55,4%
Horas de conforto DN [%]	67,3%	42,8%	83,8%	65,6%	81,2%	54,5%
Horas de conforto sala [%]	28,7%	23,6%	55,0%	49,9%	49,1%	45,0%

Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

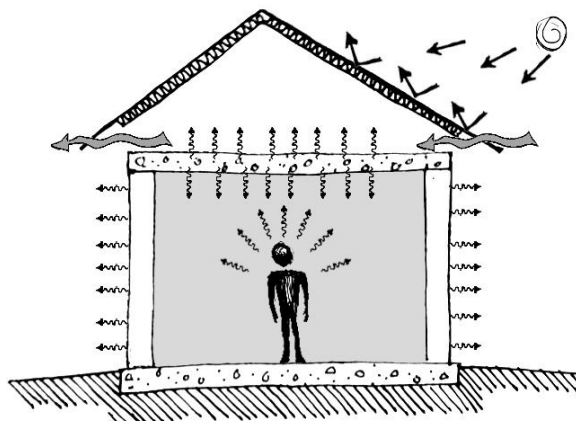
4.9 SÍNTESE DOS RESULTADOS

Em geral os resultados das simulações computacionais vieram a confirmar algumas tendências que já haviam sido constatadas em estudos analisados na revisão bibliográfica.

Pôde-se verificar por meio dos resultados das simulações computacionais, que a utilização de isolantes térmicos pode ser benéfica às condições térmicas de HIS, seja em aumentar a porcentagem de horas de conforto térmico, seja em diminuir o consumo energético com ar-condicionado. Estes benefícios estão intimamente ligados ao posicionamento do material na envoltória, assim como às condições climáticas ao qual a edificação está inserida.

Em condições climáticas nas quais se apresentam grande incidência de desconforto por calor e temperaturas mais elevadas, tais como Teresina e Recife, o uso de lã de vidro como isolante térmico incorporado somente à cobertura proporcionou maiores benefícios (Casos 3 e 5), gerando menor consumo de energia por meio do sistema de climatização artificial para resfriamento, assim como menor porcentagem de desconforto por calor.

Figura 47- Corte ilustrativo do Caso 3



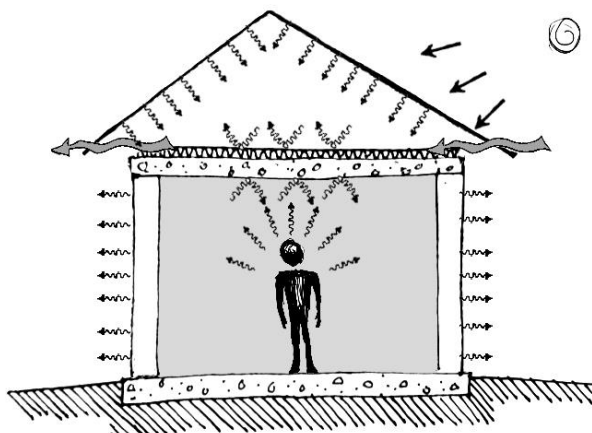
Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Tal fenômeno ocorreu devido ao fato da utilização do material na cobertura diminuir o ganho de calor por meio da radiação solar, uma vez que esta é a superfície da HIS mais suscetível a tal evento.

Apesar de ambas as configurações apresentarem isolamento somente sobre a cobertura, o Caso 3 (Figura 47), no qual a lã de vidro está posicionada junto à telha, e que permite uma maior troca de calor do meio interno com o externo por meio da infiltração de ar no ático, foi o que proporcionou maior porcentagem de horas de conforto em ambas as cidades e menor consumo energético em Recife.

Por outro lado, o Caso 5 (Figura 48) proporcionou menor consumo energético em Teresina por evitar uma maior troca de calor por meio do ático.

Figura 48- Corte ilustrativo do Caso 5



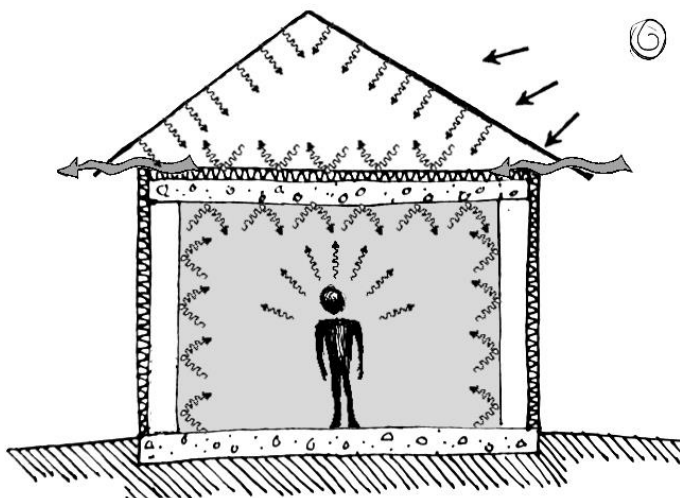
Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Já, ao se isolar toda a envoltória (paredes externas e cobertura), nas condições climáticas nas quais se apresentam maiores incidências de desconforto por frio e temperaturas mais baixas, como nas cidades de Curitiba, Santa Maria, São Paulo, Brasília e Vitória da Conquista, proporcionou-se maior conforto térmico e eficiência energética nos ambientes internos à HIS.

Este melhor desempenho sucedeu-se por causa da alta resistência térmica presente na cobertura e paredes externas, que dificultaram a troca de calor com o meio externo, reduzindo principalmente o desconforto por frio e o consumo para aquecimento.

Curitiba, Santa Maria e São Paulo, que apresentam clima mais frio, a adoção do material junto a laje e a parede (Caso 6) mostrou-se a mais vantajosa, tanto em eficiência energética quanto por porcentagem de horas de conforto térmico, isolando de forma mais eficiente a HIS, evitando desta forma a perda excessiva de calor para o meio externo por meio da envoltória (Figura 49).

Figura 49- Corte ilustrativo do Caso 6



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

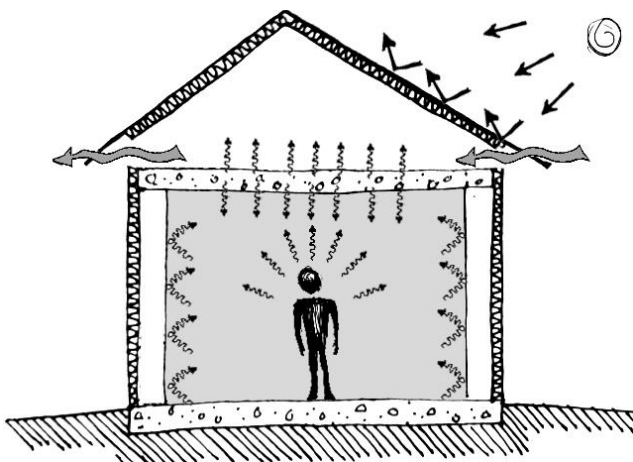
Nas condições climáticas das cidades de Brasília e Vitória da Conquista, a mesma configuração de envoltória foi a mais bem sucedida em diminuir o consumo energético. Isto se deu principalmente para aquecimento, dificultando a perda de calor interno para o meio externo.

Para estes climas, o Caso 4 (Figura 50), na qual a lã de vidro aparece junto à telha e a parede, foi o que apresentou as maiores porcentagens de conforto térmico, sendo esta configuração de envoltória muito eficaz em reduzir as horas de desconforto por calor e frio de forma mais equilibrada do que o caso em que o isolante é posicionado junto à laje e a parede.

Deve-se destacar também, que para algumas condições climáticas brasileiras, como em Campo Grande, os resultados de eficiência energética e de conforto térmico não se mostraram tão convergentes.

Neste local, isolando-se somente a cobertura junto a laje de concreto (Caso 5), proporcionou-se maior eficiência energética, ao reduzir, principalmente, a demanda por resfriamento. O uso de isolante térmico em toda envoltória (Casos 4 e 6) apresentou as menores condições de desconforto, seja por frio, seja por calor.

Figura 50- Corte ilustrativo do Caso 4

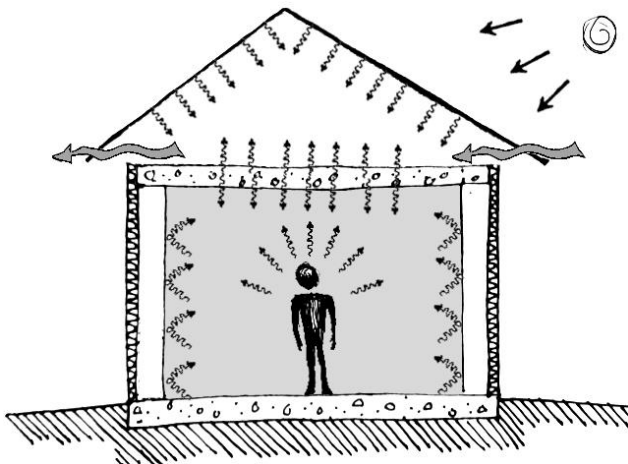


Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

A não convergência de resultados que ocorreu, pode ter se dado devido ao fato de se ter adotado o modelo adaptativo de conforto, na qual é tomado um intervalo de temperaturas operativas que varia de acordo com as condições climáticas predominantes no exterior, e o *set point* do ar-condicionado ser programado de forma estática de acordo com a temperatura do ar (22°C para aquecimento e 24°C para resfriamento).

De forma geral, a aplicação de lã de vidro somente para o isolamento térmico de paredes (Caso 2) se mostrou eficaz ao gerar o baixo consumo de energia para aquecimento e diminuir as condições de desconforto por frio. Este evento verifica-se por a cobertura permitir a entrada de calor, e a parede associada à lã de vidro não permitir a sua perda de forma tão intensa (Figura 51).

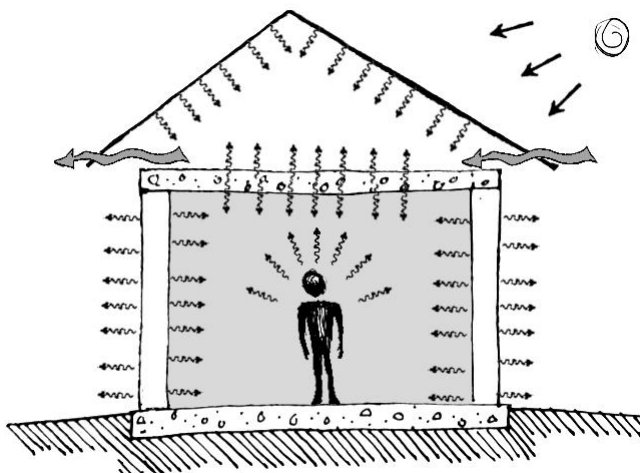
Figura 51- Corte ilustrativo do Caso 2



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Para a maior parte dos climas, o Caso 1, no qual não há a presença de isolante térmico, foi o que apresentou os piores resultados, seja quanto à eficiência energética, seja pelas horas de conforto térmico, por o mesmo estar mais exposto as condições climáticas externas (Figura 52).

Figura 52- Corte ilustrativo do Caso 1



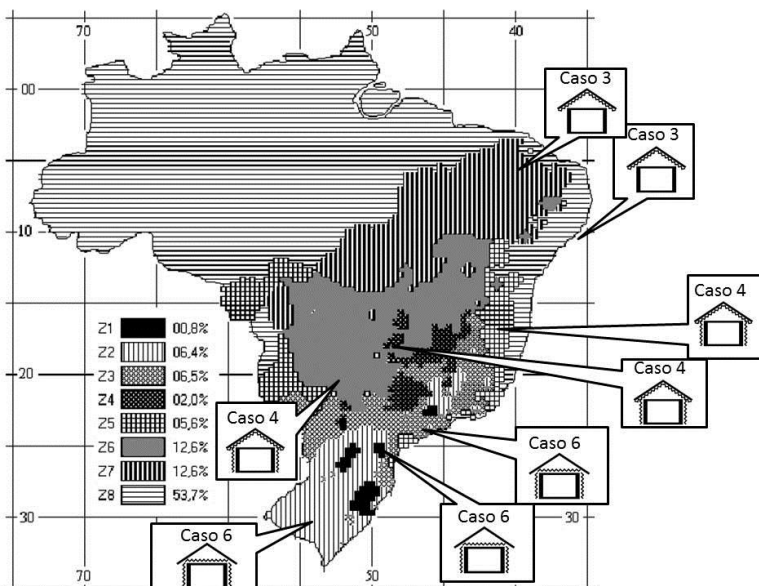
Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

De forma geral, como apresentam o Quadro 29 e o Quadro 30, a utilização de lâ de vidro mostra-se benéfica em toda envoltória na maior parte das zonas bioclimáticas brasileiras.

No entanto, ao considerarmos as áreas que cada zona bioclimática ocupa dentro do território brasileiro, como se apresentam nos mapas contidos na Figura 53 e na Figura 54, pode-se reparar que a lâ de vidro aplicada somente à cobertura se apresenta mais positiva nas maiores áreas.







Isto ocorre, pois a mesma contribui para ocorrência de melhores condições de conforto nas zonas 7 e 8, que correspondem à 66,3% do território nacional, e maior eficiência energética para aquecimento e resfriamento nas zonas 6, 7 e 8, que correspondem à 78,9%.

Figura 53- Melhores resultados quanto conforto térmico de acordo com o zoneamento bioclimático brasileiro.



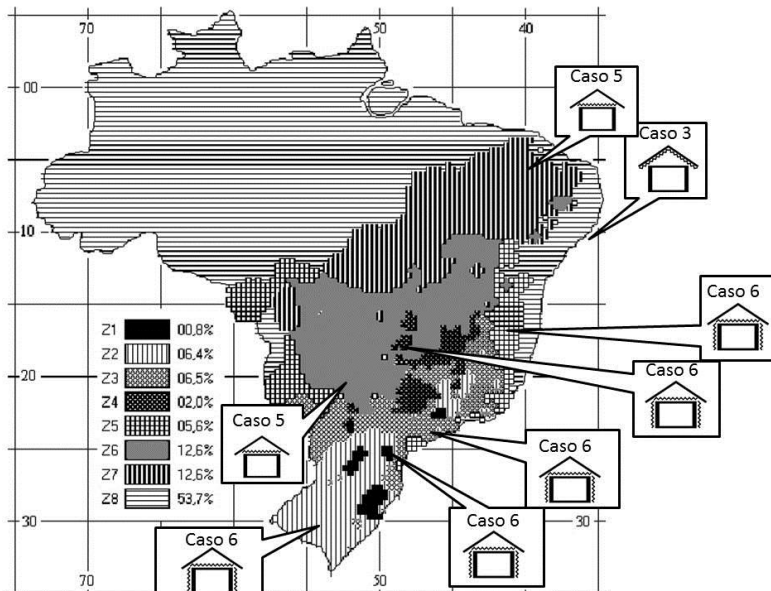
Fonte: NBR15220 (ABNT, 2005), adaptado pelo autor.

Quadro 29– Desempenho do modelo sob cada uma das configurações quanto a conforto térmico no dormitório sul em cada uma das zonas bioclimáticas. Quanto mais clara a cor do preenchimento, melhor o desempenho.

	 Caso 1	 Caso 2	 Caso 3	 Caso 4	 Caso 5	 Caso 6
Z1	31,7%	45,2%	28,4%	43,7%	31,7%	49,1%
Z2	46,2%	49,0%	51,3%	56,8%	52,0%	58,7%
Z3	47,2%	59,0%	47,6%	65,0%	51,4%	67,9%
Z4	76,3%	95,2%	79,2%	100,0%	84,7%	99,5%
Z5	74,2%	93,3%	73,4%	99,3%	79,1%	99,2%
Z6	79,0%	80,9%	85,7%	94,0%	86,4%	93,7%
Z7	43,6%	14,1%	56,1%	23,9%	52,1%	16,5%
Z8	28,7%	23,6%	55,0%	49,9%	49,1%	45,0%







Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Figura 54 - Melhores resultados quanto a eficiência energética de acordo com o zoneamento bioclimático brasileiro.



Fonte: NBR15220 (ABNT, 2005), adaptado pelo autor.

Quadro 30– Desempenho do modelo sob cada uma das configurações quanto a eficiência energética no dormitório sul em cada uma das zonas bioclimáticas. Quanto mais clara a cor do preenchimento, melhor o desempenho.

	 Caso 1	 Caso 2	 Caso 3	 Caso 4	 Caso 5	 Caso 6
Z1	1034	739	965	679	870	623
Z2	992	860	820	645	783	618
Z3	594	431	493	336	462	303
Z4	196	130	161	80	149	74
Z5	260	189	220	115	200	103
Z6	446	500	352	371	346	379
Z7	1669	1862	1536	1639	1510	1640
Z8	1196	1436	1010	1183	1015	1183

Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar do pouco uso de isolantes térmicos no Brasil, seja por questões culturais ou financeiras, o presente estudo demonstrou, por meio da revisão bibliográfica, assim como das simulações computacionais, que a adoção de isolantes em HIS pode se mostrar benéfica nas condições climáticas brasileiras.

Tais benefícios são possíveis dependendo do posicionamento do material na envoltória de HIS, uma vez que fora identificado que sua utilização somente em coberturas em climas mais quentes e assim como da sua utilização em paredes e coberturas em climas mais frios, contribuem para a redução de porcentagem de horas de desconforto e de consumo energético.

É importante ressaltar que estas melhorias foram observadas mesmo que as normas vigentes no país não apontem isto de forma mais veemente.

Mesmo que se tenha comprovado benéfica a utilização de isolantes térmicos em diferentes condições climáticas brasileiras, é importante ressaltar que fatores como a orientação da edificação, sombreamento das janelas, a baixa carga térmica interna, possibilitaram os resultados atingidos.

Por fim, cabe frisar que os resultados das simulações foram somente analisados quanto a consumo energético e porcentagem de horas de conforto nos ambientes internos da HIS, não sendo, desta forma, averiguado fluxo de calor por meio dos componentes da envoltória.

5.1 POTENCIALIDADES DO TRABALHO

O trabalho demonstra possibilidades de divulgação teórica a respeito da revisão de literatura, uma vez que fora feita, de forma aprofundada, a pesquisa de diversos estudos, de diferentes autores, sobre a potencialidade do uso de isolantes térmicos em diversas condições climáticas do mundo.

O mesmo contribui quanto a expor, de forma mais detalhada, o impacto da utilização de isolantes térmicos, seja quanto a conforto térmico ou eficiência energética, em uma HIS em alvenaria dotada de baixa carga térmica e proteção solar nas esquadrias para as diferentes condições climáticas brasileiras.

Desta forma, esta dissertação gera diretrizes para a utilização do material nas diferentes zonas bioclimáticas brasileiras.

5.2 DIFICULDADES ENCONTRADAS

Para a pesquisa da fundamentação teórica, apesar de ter sido ampla, abrangendo diversos autores dos mais distintos locais, houve dificuldade em se encontrar estudos sobre o impacto de materiais isolantes térmicos em condições climáticas quentes e úmidas, assim como dos mesmos no território brasileiro.

Apesar de se pretender avaliar de forma ampla o impacto da utilização de isolante térmico em edificações nas condições climáticas brasileiras, fora necessário se definir somente uma formatação de edificação, com sua distinta carga térmica, orientação, regime de ventilação, proteção solar e sistema construtivo, para que se reduzisse a combinação de variáveis e conseqüentemente, houvesse tempo hábil para a finalização do presente trabalho.

5.3 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se, para futuros trabalhos, buscar identificar o impacto do uso de isolantes térmicos em edificações cujas aberturas (portas e janelas) não estejam sombreadas e orientadas de forma a não receber grande radiação solar, para que se tenha uma amostra mais abrangente sobre o assunto.

Apesar de ter sido descartado o seu estudo neste trabalho, recomenda-se avaliar o impacto da variação de espessura do isolante térmico nas condições térmicas de edificações, para que se comprove, ou não, o benefício na sua utilização.

Aconselha-se o estudo quanto a utilização do material em edificações em outros sistemas construtivos, tais como o *drywall* ou em concreto, variando assim sua capacidade térmica, o que pode, desta forma, apresentar melhores resultados dependendo das condições climáticas.

Torna-se pertinente, também, a análise da habitação sob maior carga interna, uma vez que é comum o maior número de ocupantes e a utilização de maior quantidade de equipamentos do que os considerados.

Por fim, o estudo do material em habitações sociais de uso coletivo, no qual é comum a ausência de telhados com beirais e que, com exceção ao pavimento mais elevado, recebe radiação solar somente nas vedações verticais como as paredes, torna-se relevante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR ENGINEERS CONDITIONING (ASHRAE). **ASHRAE 55-2010: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta, 2010.
- ALDAWI, F.; ALAMA, F.; DATEA, A.; ALGHAMDIB, M.; ALDHAWIC, F. **A new house wall system for residential buildings**. Energy and Buildings 67, 2013. P. 403-418.
- BOJIĆ, M.; MILETIĆ, M.; BOJIĆ, L. **Optimization of thermal insulation to achieve energy saving in low energy house (refurbishment)**. Energy Conservation and Management 84, 2014. P. 681-690.
- BOZSAKY, D. **The historical development of thermal insulation materials**. Periodica Polytechnica 41/2, 2010. P. 49-56
- BRITO, J.; OLIVEIRA, T. **Thermal analysis of roofs with thermal insulation layer and reflective coatings in subtropical and equatorial climate regions in Brazil**. Energy and Buildings 84, 2014. P. 466-474.
- BYNUM, R. **Insulation Handbook**. New York: McGraw-Hill Companies, 2001.
- CHIRARATTANANON, S.; DUC HIENC, V.; TUMMUA, P. **Thermal performance and cost effectiveness of wall insulation under Thai climate**. Energy and Buildings 45, 2012. P. 82-90.
- CHVATAL, K.; MALDONADO, E.; CORVACHO, H. **Estudo do impacto do isolamento térmico da envolvente dos edifícios no seu desempenho térmico**. In: Construção 2004 – 2º Congresso Nacional da Construção. Artigo em Livro de Atas de Conferência Nacional... Porto, Portugal, 2004.
- DONGMEI, P.; MINGYIN, C.; SHIMING, D.; ZHONGPING, L. **The effects of external wall insulation thickness on annual cooling and heating energy uses under different climates**. Applied Energy 97, 2012. P313-318.

ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.; PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Relatório de Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil – Sumário Executivo – Ano base 2005**. Rio de Janeiro: ELETROBRÁS/PROCEL, 2009.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Ministério de Minas e Energia. **Anuário estatístico de energia elétrica 2014**. Rio de Janeiro, 2014.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Avaliação da eficiência energética na indústria e nas residências no horizonte decenal (2010-2019)**. Série Estudos da Demanda - Nota Técnica DEA 14/10. Rio de Janeiro: EPE, 2010.

FRIESS, W. A.; RAKHSHAN, K.; HENDAWIL, T.A.; TAJERZADESH, S. **Wall insulation measures for residential villas in Dubai: A case study in energy efficiency**. Energy and Buildings 44, 2012. P. 26-32.

GELLER, H. S. **Revolução Energética: políticas para um futuro sustentável**. Rio de Janeiro: Relume Dumará; USAid, 2003.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)**. Portaria n. 18. Eletrobrás, Rio de Janeiro, RJ, 2012.

IPCC - INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014 - Synthesis Report. Genebra, 2015**. Disponível em: < <http://www.ipcc.ch/> > Visualizado em jun. 2015.

KOLAITIS, D.I.; MALLIOTAKIS, E.; KONTOGEORGOS, D. A.; MANDILARAS, I.; KATSOURINIS, D. I.; FOUNTI, M.A. **Comparative assessment of internal and external thermal insulation systems for energy efficient retrofitting of residential buildings**. Energy and Buildings 64, 2013. P. 123-131.

KUMAR, A.; SUMAN, B. **Experimental evaluation of insulation materials for walls and roofs and their impact on indoor thermal comfort under composite climate**. Energy and Buildings 59, 2013. P. 635-643.

LABEEE, **Arquivos climáticos revisados em novembro de 2015**. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2015>> . Visualizado em dez. 2015.

LAMBERTS, Roberto. **Heat Transfer Through Roofs of Low Cost Brazilian Houses**. Tese (PhD) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Leeds. Leeds, 1988. Disponível em:< <http://www.labeee.ufsc.br/node/118>>. 2015. Visualizado em abr. 2015.

LINCZUK, V. C. C. **Estratégias para minimização do desconforto por frio em edificações localizadas em regiões de clima temperado no sul do Brasil**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2015.

NYERS, J.; KAJTAR, L.; TOMIĆ, S.; NYERS, A. **Investment-savings method for energy-economic optimization of external wall thermal insulation thickness**. Energy and Buildings 86, 2015. P. 268-274.

OLIVEIRA, Liader S.; SILVA, Antônio César S.B. da; CUNHA, Eduardo. G. da; ROSA. César. R. **Análise das condições de conforto térmico em habitações de interesse social na região sul do RS**. In: ENTAC 2010– XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Anais... Canela, 2010. Disponível em: < http://www.infohab.org.br/entac2014/2010_5.php> Visualizado em mar. 2015.

ORDENES, M; PEDRINI,A.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Metodologia Utilizada Na Elaboração Da Biblioteca De Materiais E Componentes Construtivos Brasileiros Para Simulações No Visualdoe-3.1**. Florianópolis, 2003. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/node/266>> Visualizado em fev. 2015.

PAPADOPOULOS, A.M. **State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments**. Energy and Buildings 37, 2005. P. 77- 86.

SANTAMOURIS, M.; PAVLOU, K.; SYNNEFA, A.; NIACHOU, K.; KOLOKOTSA, D. **Recent progress on passive cooling techniques advanced technological developments to improve survivality levels in low-income households**. Energy and Buildings 39, 2007. P. 859-866.

SEAD – Super-efficient Equipment and Appliance Deployment. **Cooling the Planet: Opportunities for Deployment of Super Efficient Air Conditioners**. 2013. Disponível em: < <http://clasp.ngo/en/Resources/Resources/PublicationLibrary/2013/Cooli>

ng-the-Planet_Opportunities-for-Deployment-of-Super-Efficient-Air-Conditioners.aspx#files>. Visualizado em ago. 2015.

UCLA. DEPARTMENT OF ARCHITECTURE AND URBAN DESIGN UNIVERSITY OF CALIFORNIA. **Climate Consultant 5.5**. Los Angeles: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/>>. Visualizado em dez. 2014.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **EnergyPlus 8.1**. Energy Simulation Software. Disponível em: <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>>. Visualizado em set. 2014.

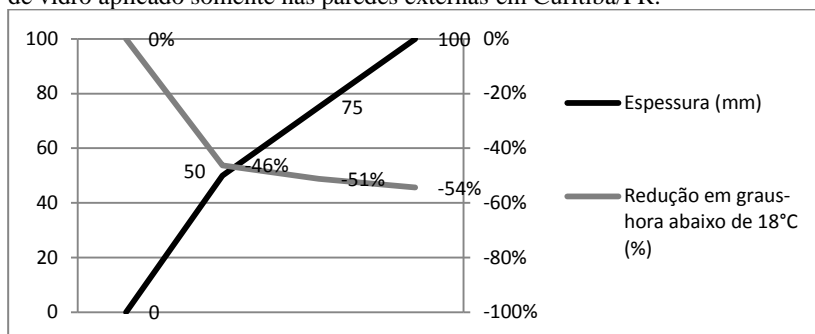
WESTPHAL, Fernando Simon; YAMAKAWA, Mary Akemi; CASTRO, Luiza Tavares de. **Thermal insulation envelope toward zero energy design in hot-humid climate**. In: Proceeding of Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, 14-16 November.

ZHU, P.; HUCKEMANNA, V.; NORBERG, M. **The optimum thickness and energy saving potential of external wall insulation in different climate zones of China**. Procedia Engineering 21, 2011. P. 608-616.

APÊNDICE A

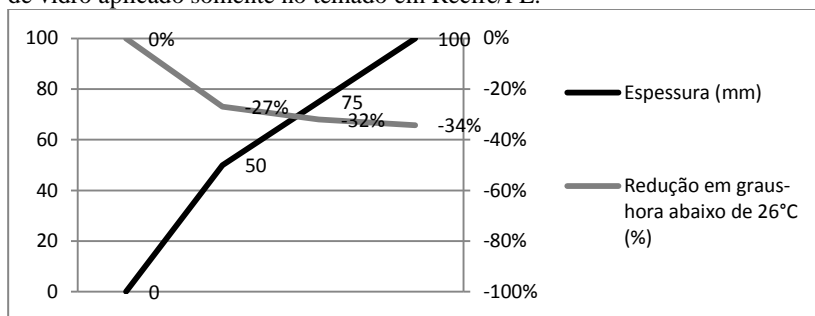
Em um ensaio, no intuito de se estudar os efeitos da aplicação de isolante térmico em maiores espessuras, foram considerados, em simulações, a aplicação do material nas espessuras de 0, 50, 75 e 100 mm, somente nas paredes (Curitiba/PR), ou somente na cobertura (Recife/PE) do modelo naturalmente ventilado. Os gráficos a seguir demonstram que não há grande impacto na adoção dos mesmos quanto à redução de graus-horas abaixo de 18°C (Gráfico A.1), quando aplicado na parede, e acima de 26°C (Gráfico A.2), quando aplicado na cobertura.

Gráfico A.1 - Redução em porcentagem de Graus-hora de aquecimento (GH18) para a temperatura do ar interno do dormitório sul (zona 1) pela espessura de lã de vidro aplicado somente nas paredes externas em Curitiba/PR.



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Gráfico A.2 - Redução em porcentagem de Graus-hora de resfriamento (GH26) para a temperatura do ar interno do dormitório sul (zona 1) pela espessura de lã de vidro aplicado somente no telhado em Recife/PE.

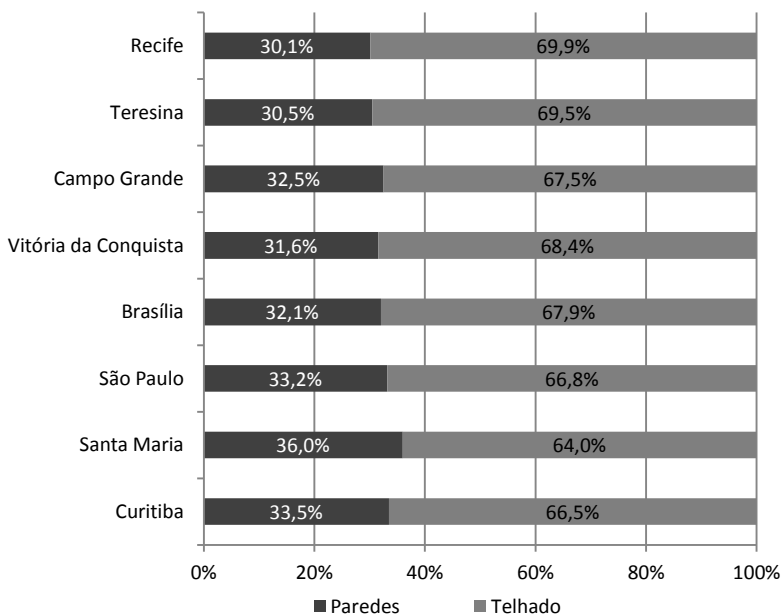


Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

APÊNDICE B

O estudo realizado pelo autor, por meio de simulação computacional no software EnergyPlus 8.1, apontou que a cobertura do modelo contribui para a maior parte dos ganhos de calor por meio da radiação solar em qualquer das localidades estudadas, como mostra o gráfico a seguir.

Gráfico B - Porcentagem de Watts de incidência de radiação solar em superfícies de cada elemento da envoltória durante o período de um ano.



Fonte: elaborado pelo autor, 2016.

Áreas de superfície externa do modelo:

- Parede: 82,52 m²;
- Telhado: 47,21 m².