

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO**  
**QUALIDADE E TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**



**DISSERTAÇÃO**

**AVALIAÇÃO DOS LIMITES DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS  
FECHAMENTOS OPACOS DA NBR 15220-3, PARA HABITAÇÕES DE INTERESSE  
SOCIAL, DA ZONA BIOCLIMÁTICA 2.**

**Liader da Silva Oliveira**

**Pelotas, 2012**

**LIADER DA SILVA OLIVEIRA**

**AVALIAÇÃO DOS LIMITES DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS  
FECHAMENTOS OPACOS DA NBR 15220-3, PARA HABITAÇÕES DE INTERESSE  
SOCIAL, DA ZONA BIOCLIMÁTICA 2.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador Prof. Dr. Antônio César Silveira Baptista da Silva.

**Pelotas, 2012**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação:**  
**Bibliotecária Daiane Schramm – CRB-10/1881**

O48a Oliveira, Liader da Silva

Avaliação dos limites das propriedades térmicas dos fechamentos opacos da NBR 15220-3, para habitações de interesse social, da zona bioclimática 2 / Liader da Silva Oliveira; Orientador: Antônio César Silveira Baptista da Silva. – Pelotas, 2012.

168f.

Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas.

## BANCA EXAMINADORA

Professor Doutor Eduardo Grala da Cunha

Universidade Federal de Pelotas

Professora Doutora Isabel Tourinho Salomoni

Universidade Católica de Pelotas e Universidade Federal de Pelotas

Professor Doutor Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos

Universidade Federal de Santa Maria

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Deus.

A Bia, minha esposa, pelo amor e companheirismo compartilhados por toda a nossa vida, fundamentais para buscar e suplantar novos desafios.

A nossa filha, Marina, razão maior das nossas vidas, e que dividiu comigo, durante todo o trabalho, a mesa de estudos e o chimarrão, facilitando em muito as tarefas que deveriam ser realizadas.

Aos meus pais, por terem me dado o amor e a educação que me ajudaram a chegar aonde estou hoje.

Aos meus familiares e amigos que estão sempre próximos de mim, em especial ao Toni, pelo incentivo e confiança demonstrados.

Ao meu orientador, Professor Antonio César, pelo estímulo que me levou a buscar, primeiramente, conhecimento sobre novas áreas e, depois, pela orientação atenta e competente, que nos levaram a alcançar êxito na pesquisa.

Ao professor Eduardo Grala da Cunha, pela parceria e ajuda constante durante a execução do trabalho.

Aos professores e colegas do PROGRAU, em especial ao Marcelo e à Stifany, pela troca de ensinamentos diária durante este período, e a Mônica, bolsista do projeto de pesquisa que muito colaborou para o desenvolvimento dos trabalhos.

Aos demais colegas do LABCEE/UFPel e servidores da Faculdade de Arquitetura, pelo apoio e confiança.

À FINEP, pelo apoio financeiro dado à execução da pesquisa.

## RESUMO

OLIVEIRA, Liader da Silva. **Avaliação dos Limites das Propriedades Térmicas dos Fechamentos Opacos da NBR 15220-3, para Habitações de Interesse Social, da Zona Bioclimática 2.** 2012. 168f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

O presente trabalho teve por objetivo fazer uma análise dos valores recomendados pela NBR 15220 – parte 3, para habitações de interesse social, e considerados como limites de transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar, tanto para fechamentos verticais quanto horizontais, para a zona bioclimática 2 brasileira. Para isto, primeiramente definiu-se as características construtivas da habitação a ser simulada no trabalho, de forma a que atendesse às especificações mínimas propostas pelo programa Minha Casa Minha Vida. Os fechamentos opacos, paredes e cobertura, do caso-base, foram definidos a partir dos limites das propriedades térmicas indicadas pela NBR 15220-3, para a zona bioclimática 2. Os resultados obtidos com o caso-base estabeleceram os referenciais de conforto térmico e de eficiência energética, com os quais as diversas configurações de envelope simuladas posteriormente foram comparadas, e possibilitaram verificar a pertinência das recomendações estabelecidas na norma. A análise dos resultados indicou que não se justificam os limites estabelecidos pela NBR 15220-3 para as variáveis de atraso térmico e fator de calor solar, quando avaliados pelos índices de conforto térmico obtidos com as simulações. Foi possível verificar que, tanto o aumento do atraso térmico quanto da absortância solar são benéficos para o conforto térmico no interior da edificação ao longo do ano na zona bioclimática 2, onde predominam as situações de desconforto no inverno.

Palavras-chave: NBR 15220, transmitância térmica, atraso térmico, fator de calor solar, simulação computacional.

## ABSTRACT

OLIVEIRA, Liader da Silva. **Evaluation of the Limits of the Thermal Properties of the Opaque Closures of the NBR 15220-3, for Dwellings of Social Interest, of the Zone Bioclimática 2.** 2012. 168f. Dissertation (master's degree) - Program of Postgraduation in Architecture and Town Planning. Federal University of Pelotas, Pelotas.

The present study aimed to analyze the values recommended by the NBR 15220 - part 3 and considered as limits of thermal transmittance, thermal lag factor and solar heat for both vertical and horizontal components to the bioclimatic zone 2 brazilian. So, at the first moment the construction characteristics of the housing to be simulated in this work were definid, so that they would meet the minimum specifications proposed by the Minha Casa Minha Vida Federal Government Program. The opaque closures walls and roof, of the base case, were defined from the limits set by the thermal properties of NBR 15220-3, for bioclimatic zone 2. The results obtained with the simulation of base case established thermal comfort and energy efficiency, with which various configurations of the envelope were simulated and subsequently compared, making possible to verify the relevance of the recommendations set forth in the standard. The results indicated that the limits established by NBR 15220-3 are not justified for thermal lag factor and solar heat variables, when evaluated by thermal comfort indices obtained by simulation. It was possible to verify that both the thermal lag as the solar absorptance increasing are beneficial for the indoor thermal comfort over the years climatic zone 2, where the situations of discomfort in winter are predominant.

Keywords: NBR 15220, thermal transmittance, thermal lag, solar heat factor, computer simulation.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	12
1.1. Apresentação do Problema.....	12
1.2. Objetivos .....	15
1.2.1. Objetivo Geral .....	15
1.2.2. Objetivos Específicos.....	15
1.3. Motivação e Justificativa .....	16
1.4. Estrutura do Trabalho .....	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	19
2.1. Arquitetura Bioclimática.....	19
2.2. Propriedades Térmicas dos Materiais .....	21
2.3. Desempenho Termoenergético.....	23
2.3.1. Normas Internacionais .....	24
2.3.2. Horas de Desconforto e Graus-Hora.....	30
2.3.3. Normas Nacionais.....	31
2.3.3.1. NBR 15220.....	32
2.3.3.2. NBR 15575 .....	33
2.3.3.3. RTQ-R.....	35
2.4. Programas de Simulação Computacional.....	37
2.4.1. Arquivos Climáticos .....	39
3. Método .....	40
3.1. Definição do Caso-Base.....	41
3.1.1. Tipologia e Geometria da Edificação.....	41
3.1.2. Padrões de Ocupação e Utilização .....	42
3.1.3. Definição da Temperatura do Solo .....	44
3.1.4. Fechamentos Verticais e Horizontais.....	45
3.1.5. Ventilação Natural .....	46
3.1.6. Operação de Venezianas .....	50
3.1.7. Orientação Solar .....	52



3.1.7.1.	Influência da Orientação da Cobertura.....	53
3.1.7.2.	Influência da Orientação Solar no Conforto dos Dormitórios .....	55
3.2.	Modelagem e Simulação do Caso-Base.....	59
3.2.1.	Arquivo Climático .....	59
3.2.2.	Definição dos fechamentos opacos .....	60
3.2.2.1.	Cálculo do fechamento vertical equivalente .....	61
3.2.2.2.	Cálculo da espessura equivalente do fechamento horizontal.....	63
3.2.3.	Definição das zonas térmicas .....	65
3.3.	Modelagem e Simulação das novas configurações de fechamentos opacos .....	67
3.3.1.	Limitações para inserção de dados no programa de simulação .....	69
3.3.2.	Limitações pela utilização da metodologia de espessura equivalente dos fechamentos .....	70
3.3.2.1.	Características dos fechamentos verticais equivalentes .....	71
3.3.3.	Características físicas e térmicas dos fechamentos opacos equivalentes .....	75
4.	Análise dos Resultados.....	76
4.1.	Resultados do Caso-base.....	77
4.1.1.	Padrões de Conforto.....	79
4.1.2.	Alternativas de Simulação.....	79
4.1.2.1.	Alteração dos fechamentos verticais - Orientação das aberturas leste-oeste .....	79
4.1.2.2.	Alteração dos fechamentos verticais - Orientação das aberturas norte-sul.....	102
4.1.2.3.	Alteração dos Fechamentos Horizontais .....	103
4.1.2.4.	Resumo das configurações de fechamentos, verticais e horizontais, indicadas em função dos resultados do trabalho .....	124
5.	Conclusões.....	125
5.1.	Sugestões para trabalhos futuros .....	127
	Referências Bibliográficas .....	128
	Apêndices .....	135
	Apêndice A - Estudo Piloto.....	136
	Apêndice B - Características físicas e térmicas dos fechamentos opacos verticais equivalentes sem câmara de ar.....	149
	Apêndice C - Características físicas e térmicas dos fechamentos opacos verticais equivalentes com câmara de ar.....	151
	Apêndice D - Características físicas e térmicas dos fechamentos opacos horizontais equivalentes sem câmara de ar.....	153
	Apêndice E - Características físicas e térmicas dos fechamentos opacos horizontais equivalentes com câmara de ar .....	155

Apêndice F - Tabela de resultados de conforto térmico e graus-hora para configurações de parede (eixo norte-sul).....	157
Apêndice G - Tabela de resultados de conforto térmico e graus-hora para configurações de parede (eixo leste-oeste) .....	160
Apêndice H - Tabela de resultados de conforto térmico e graus-hora para configurações de cobertura.....	163
Apêndice I - Gráficos de interpolação dos valores de transmitância térmica e conforto térmico para HIS .....	167

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Regiões Climáticas do Brasil .....	16
Figura 2 - Habitações em Mesa Verde, Colorado (EUA) .....	20
Figura 3 - Representação gráfica do cálculo de transmitância térmica .....	23
Figura 4 - Escala Sétima da ASHRAE.....	24
Figura 5 - Gráfico PMV x PPD .....	25
Figura 6 - Faixas de Temperaturas Operativas Aceitáveis para Espaços Condicionados Naturalmente .....	28
Figura 7 - Carta Bioclimática de Givoni .....	30
Figura 8- Representação gráfica dos graus-hora de aquecimento e resfriamento.....	31
Figura 9 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro .....	33
Figura 10 - Interface Gráfica do DesignBuilder .....	38
Figura 11 - Planta baixa da edificação (caso-base).....	41
Figura 12 - Gráfico anual de conforto térmico para diferentes critérios de acionamento de venezianas .....	51
Figura 13 - Gráfico anual de graus-hora para diferentes critérios de acionamento de venezianas .....	52
Figura 14 - Orientação solar dos modelos simulados .....	52
Figura 15 - Orientação solar das coberturas: (a) inclinação norte-sul; (b) inclinação leste-oeste .....	53
Figura 16 - Gráfico de graus-hora totais dos dormitórios em função de sua orientação solar (U=1,00W/m²K) .....	58
Figura 17 - Gráfico de graus-hora totais dos dormitórios em função de sua orientação solar (U=5,00W/m²K) .....	58
Figura 18 - Carta Bioclimática de Givoni para Santa Maria - RS (ZB2) .....	60
Figura 19 - Componente equivalente .....	61
Figura 20 - Parede equivalente ZB2 .....	65
Figura 21 - Cobertura equivalente ZB 2.....	65
Figura 22 - Bloco térreo .....	65
Figura 23 - Bloco da cobertura .....	66
Figura 24 - Zonas térmicas .....	66
Figura 25 - Representação das zonas térmicas do bloco térreo e do bloco de cobertura .....	67
Figura 26 - Conforto térmico anual (paredes com U = 1,00W/m²K).....	72
Figura 27 - Graus-hora de resfriamento (paredes de U = 1,00W/m²K) .....	73
Figura 28 - Graus-hora de aquecimento (paredes de U = 1,00W/m²K) .....	73
Figura 29 - Conforto térmico anual (paredes com U = 2,00W/m²K).....	74
Figura 30 - Graus-hora de resfriamento (paredes de U = 2,00W/m²K) .....	74
Figura 31 - Graus-hora de aquecimento (paredes de U = 2,00W/m²K) .....	75
Figura 32 - Conforto Térmico Caso-base.....	78
Figura 33 - Graus-hora totais (caso-base) .....	78
Figura 34 - Habitação implantada com orientação leste-oeste .....	80
Figura 35 - Conforto total da HIS para paredes de absorvância 0,2 (aberturas leste-oeste).....	80
Figura 36 - Graus-hora total da HIS para paredes de absorvância 0,2 (aberturas leste-oeste) .....	82
Figura 37 - Conforto total da HIS para paredes de absorvância 0,5 (aberturas leste-oeste).....	83
Figura 38 - Graus-hora total da HIS para paredes de absorvância 0,5 (aberturas leste-oeste) .....	84

Figura 39 - Conforto total da HIS para paredes de absorvância 0,7 (aberturas leste-oeste).....	85
Figura 40 - Graus-hora total da HIS para paredes de absorvância 0,7 (aberturas leste-oeste) .....	86
Figura 41 - Conforto dormitório dos filhos para paredes de absorvância 0,2 (aberturas leste-oeste).....	90
Figura 42 - Graus-hora total do dormitório dos filhos para paredes de absorvância 0,2 (aberturas leste-oeste).....	91
Figura 43 - Conforto dormitório dos filhos para paredes de absorvância 0,5 (aberturas leste-oeste).....	92
Figura 44 - Graus-hora total do dormitório dos filhos para paredes de absorvância 0,5 (aberturas leste-oeste).....	93
Figura 45 - Conforto dormitório dos filhos para paredes de absorvância 0,7 (aberturas leste-oeste).....	94
Figura 46 - Graus-hora total do dormitório dos filhos para paredes de absorvância 0,7 (aberturas leste-oeste).....	95
Figura 47 - Comparação entre trocas térmicas do dormitório dos filhos com a parede e temperaturas internas (verão) .....	97
Figura 48 - Comparação entre trocas térmicas do dormitório dos filhos com a parede e temperaturas internas (inverno).....	99
Figura 49 - Conforto total da HIS para paredes de absorvância 0,5 (eixo leste-oeste).....	103
Figura 50 - Conforto HIS para cobertura com absorvância de 0,2 .....	104
Figura 51 - Graus-hora HIS para cobertura com absorvância de 0,2.....	105
Figura 52 - Conforto HIS para cobertura com absorvância de 0,5 .....	106
Figura 53 - Graus-hora HIS para cobertura com absorvância de 0,5.....	107
Figura 54 - Conforto HIS para cobertura com absorvância de 0,7 .....	108
Figura 55 - Graus-hora HIS para cobertura com absorvância de 0,7.....	109
Figura 56 - Conforto dormitório dos filhos para cobertura com absorvância de 0,2 .....	114
Figura 57 - Conforto dormitório dos filhos para cobertura com absorvância de 0,5 .....	115
Figura 58 - Conforto dormitório dos filhos para cobertura com absorvância de 0,7 .....	116
Figura 59 - Graus-hora dormitório dos filhos para cobertura com absorvância de 0,2.....	117
Figura 60 - Graus-hora dormitório dos filhos para cobertura com absorvância de 0,5.....	118
Figura 61 - Graus-hora dormitório dos filhos para cobertura com absorvância de 0,7.....	119
Figura 62 - Comparação entre trocas térmicas da cobertura e temperaturas internas no dormitório (verão) .....	121
Figura 63 - Comparação entre trocas térmicas da cobertura e temperaturas internas no dormitório (inverno).....	123
Figura 64 - Edificação caso-base.....	137
Figura 65 - Parede equivalente .....	138
Figura 66 - Quadro resumo dos fechamentos verticais para as ZBs 1, 2 e 3 .....	139
Figura 67 - Cobertura ZBs 1, 2 e 3 .....	140
Figura 68 - Parede dupla de tijolos furados .....	141
Figura 69 - Conforto Térmico Anual ZB1 .....	142
Figura 70 - Conforto Térmico Anual ZB2 .....	143
Figura 71 - Conforto Térmico Anual ZB3 .....	143
Figura 72 - Conforto Térmico Dormitórios ZB1 21-8hs.....	144
Figura 73 - Conforto Térmico Dormitórios ZB2 - 21-8hs .....	144
Figura 74 - Conforto Térmico Dormitórios ZB3 21-8hs.....	145
Figura 75 - Análise através dos Graus-Hora 24hs para ZB1 .....	145
Figura 76 - Análise através dos Graus-Hora 24hs para ZB2 .....	146
Figura 77 - Análise através dos Graus-Hora 24hs para ZB3 .....	146
Figura 78 - Análise através de Graus-Hora Dormitório 21-8hs ZB1 .....	147
Figura 79 - Análise através de Graus-Hora Dormitório 21-8hs ZB2.....	147

Figura 80 - Análise através de Graus-Hora Dormitório 21-8hs ZB3 .....	148
Figura 81 - Conforto total da HIS para paredes de absorvência 0,2 (interpolação de transmitância térmica) .....	167
Figura 82 -Conforto total da HIS para coberturas de absorvência 0,5 (interpolação de transmitância térmica) .....	168

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Absortividade Média das Cores .....	22
Tabela 2 - Categorias de Conforto Térmico .....	26
Tabela 3 - Aplicação do PMV sobre os limites da zona de conforto de GIVONI (1992) .....	29
Tabela 4 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão .....	34
Tabela 5 - Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno .....	35
Tabela 6 - Coeficiente "a" da tabela 3 .....	36
Tabela 7 - Padrão de Ocupação (tabela 3.39 do RTQ-R) .....	42
Tabela 8 - Taxas metabólicas para cada atividade (tabela 3.40 do RTQ-R) .....	43
Tabela 9 - Padrão de uso da iluminação (tabela 3.41 do RTQ-R) .....	43
Tabela 10 - Densidade de potência instalada de iluminação (tabela 3.42 do RTQ-R) .....	44
Tabela 11 - Carga interna de equipamentos (tabela 3.43 do RTQ-R) .....	44
Tabela 12 - Temperatura do solo para o caso-base e demais configurações de fechamentos .....	45
Tabela 13 - Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação .....	45
Tabela 14 - Valores de expoentes e camada limite para diferentes categorias de terreno .....	47
Tabela 15 - Coeficientes de pressão do vento para edificações comuns com tipologia simples .....	49
Tabela 16 - Conforto térmico e graus-hora para $U = 1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ .....	54
Tabela 17 - Conforto térmico e graus-hora para $U = 5,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ .....	54
Tabela 18 - Percentual de Conforto e Graus-hora (Edificação com aberturas para leste-oeste) - $U = 1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ .....	56
Tabela 19 - Percentual de Conforto e Graus-hora (Edificação com aberturas para norte-sul) - $U = 1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ .....	56
Tabela 20 - Percentual de Conforto e Graus-hora (Edificação com aberturas para leste-oeste) - $U = 5,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ .....	57
Tabela 21 - Percentual de Conforto e Graus-hora (Edificação com aberturas para norte-sul) - $U = 5,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ .....	57
Tabela 22 - Configurações de Simulação .....	68
Tabela 23 - Configurações simuladas que compõe a NBR 15220-3 .....	69
Tabela 24 - Configurações de simulação analisadas .....	70
Tabela 25 - Configuração das paredes equivalentes de $U = 1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ .....	71
Tabela 26 - Configurações das paredes equivalentes de $U = 2,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ .....	72
Tabela 27 - Conforto e graus-hora do caso-base (aberturas leste-oeste) .....	77
Tabela 28 - Conforto e graus-hora do caso-base (aberturas norte-sul) .....	77
Tabela 29- Resumo das configurações de paredes simuladas (aberturas leste-oeste) .....	88
Tabela 30- Resumo das configurações de paredes simuladas que possuem características semelhantes as da NBR 15220-3 (aberturas leste-oeste) .....	89
Tabela 31 - Graus-hora do dormitório dos filhos para transmitâncias de 1,00 e $5,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ .....	101
Tabela 32 - Absortância solar limite em função da transmitância térmica e do FCS para a zona bioclimática 2 .....	110
Tabela 33 - Indicações de valores de transmitância térmica, atraso térmico e absortância solar admissíveis para cada tipo de vedação externa, para a zona bioclimática 2 .....	124

# **1. INTRODUÇÃO**

## **1.1. Apresentação do Problema**

Segundo dados do Programa Nacional de Amostra por Domicílios (PNAD) de 2008, para zerarmos o déficit habitacional nacional precisaríamos construir quase 5,6 milhões de moradias e, somente na região sul do país, cerca de 590 mil moradias. O Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), através do Programa Minha Casa Minha Vida, pretende, até 2014, construir ou reformar 3 milhões de moradias, para famílias com renda mensal de até 10 salários mínimos, sendo que a grande maioria destes recursos (60%) serão utilizados para financiar moradias para famílias com até 3 salários mínimos de renda mensal.

Os elevados recursos financeiros que estão sendo disponibilizados para a redução deste déficit habitacional, porém, não garantem a qualidade da moradia. Santos (1995) indicou que as políticas habitacionais adotadas para enfrentar este déficit estimularam a busca por novos sistemas construtivos, a utilização de materiais de baixa qualidade e a redução do espaço da moradia, entre outros problemas, procurando adaptar-se aos valores limites de financiamentos disponibilizados. A portaria nº 325, de 7 de julho de 2011, do Ministério das Cidades, estipulam um valor máximo a ser financiado, para os estados do sul (RS, SC e PR), de R\$ 50.000,00 (cinquenta mil reais) para casas em capitais e regiões metropolitanas. Estes valores somente poderão ser praticados se as habitações obedecerem às especificações técnicas mínimas do programa e devem atender a aquisição do terreno, a construção da edificação, pagamento de tributos, despesas de legalização entre outros. Dentro das especificações mínimas há um subitem que indica que, apenas para as tecnologias inovadoras, devem ser atendidas as especificações da norma de desempenho NBR 15575 (2012) ou comprovar desempenho satisfatório junto à Caixa Econômica Federal, órgão financiador, sem contanto informar como isto deve ser feito.

O reflexo da má qualidade da construção é que, além da precariedade das condições de conforto no interior das edificações, há um gasto excessivo de energia para que, artificialmente, estas condições sejam atendidas (Almeida et al, 2005). Este conforto artificial, porém, tem um custo elevado no orçamento mensal das famílias de menor renda. A redução que poderá ocorrer com a menor utilização de sistemas artificiais de climatização e iluminação advindos de um projeto eficiente será muito importante para um ajuste neste orçamento.

Mesmo que estudos de avaliação pós-ocupação em habitações de interesse social no Brasil geralmente apresentem altos níveis de satisfação dos usuários, provavelmente devido a precariedade da moradia anterior (Kowaltowski et al., 2009), ao se fazer uma análise com base em parâmetros físicos e quantificáveis, é possível comprovar a falta de qualidade nas habitações. Nascimento et al (2001), em trabalho de avaliação de desempenho de um conjunto habitacional em Ipatinga, MG, mostrou que, apesar de 92% dos moradores estarem satisfeitos com a moradia, 61% estavam insatisfeitos com o conforto ambiental no interior da mesma.

Outros trabalhos, como Faria et al (2003) e Almeida et al (2005), também indicam a precariedade das construções e a falta de preocupação, na etapa de projeto, com o aproveitamento dos recursos naturais, como elementos definidores das más condições de conforto nas habitações.

A preocupação crescente com o nível de conforto dos usuários e, principalmente, com o consumo desnecessário de energia de edificações mal projetadas ou construídas com materiais não adequados conduziu a uma recente normatização sobre o tema. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou, nos últimos anos, duas normas: a NBR 15220 - Desempenho Térmico de Edificações – em 2005 e a NBR 15575 – Desempenho de Edifícios Habitacionais de até Cinco Pavimentos – em 2008.

A NBR 15220, em sua parte 3, define recomendações quanto ao desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social, indicando as diretrizes construtivas e as estratégias bioclimáticas mais adequadas para diversas zonas bioclimáticas, porém não tem caráter compulsório. Além disso muitas das prescrições contidas na norma, principalmente em relação as características físicas dos fechamentos (transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar), tem sido contestadas em trabalhos de pesquisadores da área.



A NBR 15575 é ampla e propõe uma análise de requisitos, critérios e métodos de avaliação de desempenho que vão desde o desempenho estrutural, estanqueidade de aberturas, desempenho térmico, acústico e lumínico, até a adequação ambiental, durabilidade e manutenibilidade.

Menezes (2006) realizou medições *in loco* de temperatura e umidade no interior e no exterior de edificações de interesse social na cidade de Passo Fundo, zona bioclimática 2, e também modelou as mesmas edificações através do programa *EnergyPlus*. Os relatórios do processo de simulação computacional foram confrontados com os dados medidos e foi constatado que o período de desconforto térmico é muito maior devido ao frio do que devido ao calor, sendo feita a indicação de um aumento da inércia térmica da edificação, juntamente com outras estratégias de condicionamento térmico passivo, para melhorar o conforto térmico da edificação.

Matos (2007) observou, através de um processo de simulação computacional em habitações com o uso de ventilação natural, que a limitação do atraso térmico previsto na norma não se justificaria, em função de que todas as paredes com transmitância dentro dos limites estabelecidos apresentam semelhança nos resultados de graus-hora para a zona bioclimática 3.

Pereira (2009), que estudou a importância do envelope no desempenho térmico em uma habitação ocupada e ventilada naturalmente em Florianópolis, zona bioclimática 3, chegou à conclusão que, mais do que a transmitância térmica, a capacidade térmica dos fechamentos tem uma correlação positiva com o conforto térmico no interior das edificações. Tomando-se por base valores entre 0 e 1 para a correlação entre a capacidade térmica e o desconforto, os valores estiveram próximos de 0,80 (correlação forte), enquanto que em relação à transmitância e o desconforto estes valores estiveram abaixo de 0,4, indicando uma correlação fraca.

A própria NBR 15575, posterior à NBR 15220, já utiliza alguns parâmetros diferentes para avaliação simplificada das edificações. A NBR 15575 utiliza a capacidade térmica e não o atraso térmico como limitador, mesmo critério do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, o RTQ-R (2009), que o usa como pré-requisito.

A importância de se ter recomendações projetuais confiáveis pode ser atestada através de trabalho de Venâncio et al (2011). Em pesquisa realizada com arquitetos, consultores e pesquisadores, constatou-se que, para cerca de 58% dos arquitetos, a adoção destas recomendações é a ferramenta mais frequente na tomada de decisões. Em relação à melhoria do desempenho térmico e energético da edificação 58,82% utilizam estas recomendações, enquanto para definir as estratégias climáticas de projeto este valor sobe para 70,59%.

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo Geral

Avaliar as prescrições da NBR 15220 – parte 3, quanto às características térmicas - transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar - dos fechamentos opacos (paredes e coberturas), propondo uma correlação entre essas variáveis a partir da análise das condições de conforto térmico de uma habitação de interesse social, para a zona bioclimática 2 brasileira.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

Como objetivos específicos a serem atendidos ao longo do trabalho destacam-se:

- Definir as características construtivas e funcionais da habitação de interesse social que será objeto do estudo;
- Modelar e configurar as condições de contorno da HIS, com a utilização do programa *DesignBuilder*, tanto para o caso base (prescrições da norma) quanto para diferentes configurações de envelope;
- Análise comparativa do desempenho térmico das configurações testadas utilizando a carta bioclimática de Givoni como índice de conforto;
- Análise comparativa do desempenho energético das configurações testadas utilizando o cálculo do número de graus-hora como indicador de análise;
- Verificar a possibilidade das prescrições da norma NBR 15220-3, para a definição do envelope na zona bioclimática 2, serem caracterizados por intervalos correlacionando as características térmicas da edificação.

### 1.3. Motivação e Justificativa

O Brasil tem grande parte de seu território situado na zona térmica tropical, entre o Trópico de Câncer e o Trópico de Capricórnio, sendo que, diferentemente do restante do país, a região sul é a única abaixo do Trópico de Capricórnio, fazendo parte da zona térmica temperada do sul do planeta. Em função disso e de seu imenso território o país tem um clima muito variado (Lamberts et al, 2004), que foi dividido em seis regiões climáticas, conforme Figura 1.



Figura 1 – Regiões Climáticas do Brasil

Fonte: tempoprevisão.net (2011)

O estado do Rio Grande do Sul está inserido na região subtropical do país, juntamente com os outros estados da região sul, Santa Catarina e Paraná. O clima no estado é denominado temperado subtropical e, devido à sua latitude, sofre as influências das massas de ar oriundas da região polar e da área tropical continental e Atlântica (Atlas Sócio Econômico do Rio Grande do Sul – edição eletrônica). Com isso as temperaturas apresentam grande variação sazonal, com verões quentes e invernos bastante rigorosos, além de uma grande amplitude térmica diária.

Silva e Gonçalves (2008) coletaram dados horários de temperatura por um período superior a dois anos, no município de Pelotas (RS), onde observaram temperaturas de quase 40°C no verão, com amplitude térmica neste período de até 18°C, e temperaturas mínimas no inverno de 0°C, sendo que, neste período, a maior amplitude térmica observada foi de 15°C.

Estas condições tornam mais importante a definição correta dos materiais construtivos do envelope das edificações, além de estratégias de projeto que busquem uma

interação com o clima local, de forma a promover melhores condições de conforto térmico no interior das habitações.

A NBR 15220, em sua parte 3, dividiu o país em oito zonas bioclimáticas, relativamente homogêneas quanto ao clima, e, a partir daí, estabeleceu estratégias projetuais e recomendações quanto às características térmicas dos fechamentos do envelope das habitações.

As dúvidas levantadas a partir dos trabalhos de Menezes (2006), Matos (2007) e Pereira (2009), bem como a mudança de parâmetros de análise constantes nas normas e regulamentos mais recentes, já referenciados neste trabalho, suscitaram a realização de um estudo-piloto para, inicialmente, confirmar a hipótese de que as recomendações da NBR 15220, em sua parte 3, quanto as características do envelope da edificação, não expressam totalmente a realidade.

O estudo-piloto, que se encontra no Apêndice "A", baseou-se na mesma metodologia que será utilizada na dissertação, e foi realizado para as zonas bioclimáticas 1, 2 e 3. Os resultados indicaram que uma edificação com paredes externas duplas de tijolos furados, que possui um atraso térmico de 6,5 horas, muito superior ao limite estabelecido pela NBR 15220-3, de 4,3 horas, proporcionou mais horas de conforto térmico do que a mesma habitação com as paredes configuradas com os limites térmicos estabelecidos pela norma, para qualquer uma das zonas bioclimáticas estudadas.

Outro fator importante a ser levado em consideração é a evolução dos programas de simulação computacional. Programas com algoritmos mais complexos se tornaram possíveis de utilizar a alta capacidade de processamento dos computadores atuais, reduzindo as simplificações dos modelos virtuais, através de recursos gráficos de modelagem geométrica, navegação e entrada de dados, a exemplo do *DesignBuilder* (*DesignBuilder*, 2000-2010). Segundo Venâncio (2011) a integração de algumas ferramentas com programas de representação é uma alternativa para programas com recursos mais limitados de modelagem geométrica, como é o caso do *EnergyPlus* (2011).

A partir do exposto, este trabalho buscou fazer uma análise dos valores recomendados pela NBR 15220 – parte 3 e considerados como limites de transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar, buscando propor a criação de intervalos correlacionando a transmitância e o atraso térmico. Para isso foi definida uma tipologia para a

habitação de interesse social que se enquadrou na realidade nacional atual. Após a mesma foi modelada, com a utilização de um programa de simulação termoenergética de edificações, o *DesignBuilder*, e simulada para a zona bioclimática 2, que representa a grande maioria dos municípios do Rio Grande do Sul. A análise dos resultados deste processo nos deu condições de avançarmos no objetivo de buscar o conforto térmico sem orientar-se por recomendações tão estanques quanto às atuais, no que se referem às características construtivas do envelope definidas na NBR 15220.

#### 1.4. Estrutura do Trabalho

Este trabalho está dividido em cinco capítulos. O primeiro capítulo apresenta uma introdução sobre o assunto, caracterizando o problema estudado e descrevendo os objetivos buscados.

No segundo capítulo inicia-se uma revisão bibliográfica que inclui a arquitetura bioclimática e sua relação com o conforto térmico, propriedades térmicas dos materiais, análise do desempenho térmico e energético de edificações, incluindo métodos de análise utilizados no Brasil e no mundo e a utilização de programas de simulação computacional.

O terceiro capítulo apresenta a metodologia utilizada no trabalho. Inicialmente descreve-se como foi definida a tipologia da habitação de interesse social que será estudada e seus padrões de ocupação e utilização. Em seguida, descreve-se a sua modelagem e a realização de simulações computacionais para análises de desempenho térmico e energético, com diferentes materiais no envelope do modelo, tendo os limites da NBR 15220 como caso-base, apresentando os programas computacionais utilizados, e o método para tratamento dos dados.

No quarto capítulo são apresentados os resultados alcançados ao longo do trabalho, mostrando as análises de influência do envelope no desempenho térmico do modelo. Através da utilização da carta bioclimática de Givoni para países em desenvolvimento, obtidas com o programa *AnalisisBio*, são avaliados os índices de conforto para as diversas configurações do envelope, tanto para a edificação como um todo, quanto para os dormitórios, no período noturno, bem como os graus-hora de desconforto.

No quinto e último capítulo serão apresentadas as conclusões do trabalho e as limitações encontradas, além de sugestões para trabalhos futuros.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Arquitetura Bioclimática**

A Bioclimatologia é a ciência que estuda a climatologia aplicada com relação aos seres vivos, isto é, a interação entre os elementos (temperatura e umidade do ar, velocidade e direção do vento, pressão atmosférica, etc.) e fatores (altitude, relevo, massas de ar, etc.) climáticos com as percepções dos seres vivos.

Olgyay (1968) criou a expressão projeto bioclimático, aplicando a bioclimatologia na arquitetura. Segundo Lamberts (2004) a arquitetura, assim concebida, busca utilizar, por meio de seus próprios elementos, as condições favoráveis do clima com o objetivo de satisfazer as exigências de conforto térmico do homem. Segundo Romero (1988) na arquitetura bioclimática o próprio edifício funciona como mecanismo de controle das variáveis do meio, através da sua envoltória e do seu entorno.

Desse modo o atendimento das exigências de conforto pode ser desvinculado da utilização excessiva de equipamentos mecânicos de refrigeração e iluminação, nem sempre acessíveis financeiramente à maioria da população (SCHINLLER et al, 2002).

A utilização dos conceitos bioclimáticos na elaboração do projeto, associado à escolha correta e fundamentada dos materiais construtivos, fará com que a edificação consuma menos energia para obter as condições de conforto necessárias para o desenvolvimento das atividades a que se destina.

Esta prática era largamente utilizada desde a antiguidade, quando o conforto térmico era obtido quase que exclusivamente pelo aproveitamento das características desejáveis do clima. Vários exemplos podem ser citados, como as edificações subterrâneas construídas no norte da China, que buscavam minimizar os efeitos do clima muito severo, com extremos de temperatura do ar, ou como as habitações construídas pelo povo de Mesa Verde, localizadas

no deserto do Colorado, EUA (Figura 2). Esta civilização, que habitou o local durante setecentos anos, entre 600 e 1300 dC, construiu suas casas sob as encostas das montanhas. Com isso, além de proteger-se dos raios solares durante o período de verão, quente e seco, aproveitavam a incidência mais baixa do sol durante o período de inverno para aquecer o interior de suas habitações. Também as rochas das encostas armazenavam calor durante o dia, transferindo-o para as habitações à noite, proporcionando uma temperatura mais agradável e melhores condições de conforto térmico.

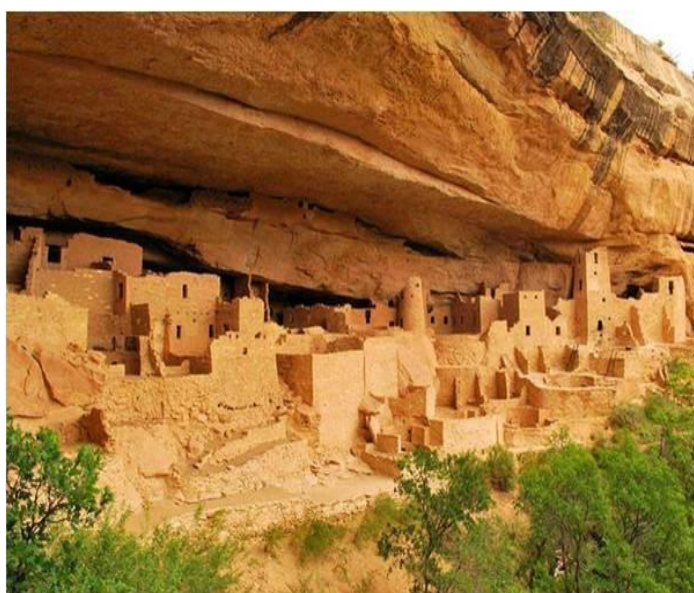


Figura 2 - Habitações em Mesa Verde, Colorado (EUA)

Fonte: [civilizacoesprecolombianas.blogspot.com](http://civilizacoesprecolombianas.blogspot.com) (2011)

A Revolução Industrial, que proporcionou a produção do aço em larga escala e, mais tarde, a utilização de sistemas artificiais de iluminação e condicionamento de ar, colaborou para o surgimento da chamada “Internacionalização da Arquitetura”. Neste momento a arquitetura bioclimática foi esquecida, pois era possível compensar projetos pouco eficientes com a utilização de equipamentos, além de inseri-los em qualquer ambiente climático. Esta tendência só foi revista a partir da primeira crise do petróleo na década de 70 que, somados aos crescentes impactos ambientais resultantes da necessidade cada vez maior de energia, levaram vários países a implementar políticas de eficiência energética e, entre elas, o incentivo ao aproveitamento dos recursos naturais, princípio da arquitetura bioclimática.

No Brasil estas ações se intensificaram a partir do “apagão” de 2001, uma das maiores crises energéticas nacionais, resultante de uma combinação da falta de investimentos

no setor energético e de um período de poucas chuvas, que deixou os reservatórios das hidrelétricas em níveis muito baixos. Apesar de ter causado grandes transtornos à população o “apagão” foi o balizador para a adoção de iniciativas governamentais mais incisivas nesta área.

No âmbito das legislações a primeira iniciativa efetiva para promover a eficiência energética no país foi através da promulgação da lei nº 10295/2001, que dispunha sobre a “Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia”. No seu artigo 4º afirmava que “o Poder Executivo desenvolverá mecanismos que promovam a eficiência energética nas edificações construídas no país”.

Assim, em outubro de 2003, lançava-se o PROCEL EDIFICA, através do Plano de Ação para Eficiência Energética em Edificações, estabelecendo seis vertentes de ação: arquitetura bioclimática, indicadores referenciais para edificações, certificação de materiais e equipamentos, regulamentação e legislação, remoção de barreiras à conservação de energia e educação.

## 2.2. Propriedades Térmicas dos Materiais

Para o estudo do desempenho térmico de uma edificação é fundamental o conhecimento das principais propriedades térmicas dos materiais que compõe os fechamentos, opacos e transparentes, da edificação.

Segundo LAMBERTS (2004, p. 56) “em uma arquitetura, as trocas de energia (luz e calor) entre os meios exterior e interior têm como cerne o envelope construtivo, que envolve o ser humano.” Esse envelope pode ser dividido em duas partes, ou fechamentos, os transparentes, formados pelas janelas, clarabóias e outros materiais translúcidos, e os opacos, como paredes e cobertura.

Nos fechamentos transparentes a parcela transmitida diretamente para o interior, através da radiação solar, é, normalmente, a mais significativa nos ganhos térmicos das edificações. Pode ser controlada através da orientação solar e tamanho das aberturas, pelo tipo de vidro e sua maior ou menor capacidade de transmitir radiação de onda curta (luz) para o



interior e também pela utilização de proteções solares internas, como cortinas, ou externas, como persianas, venezianas ou brise-soleils<sup>1</sup>.

Nos fechamentos opacos a transferência de calor ocorre por diferença de temperatura entre as superfícies do exterior e interior da edificação. Os fatores que influem mais diretamente são a absortividade à radiação solar, função da cor do fechamento, que indica quanto da energia incidente é absorvida pelo fechamento e que, posteriormente, pode ser transmitida para o interior da edificação. A Tabela 1 indica a absortividade média de cores claras, médias e escuras, segundo Lamberts (2004).

Tabela 1 - Absortividade Média das Cores

CORES	ABSORTÂNCIA ( $\alpha$ )
Escuras	0,7 a 0,9
Médias (tijolos)	0,5 a 0,7
Claros	0,2 a 0,5

Fonte: adaptado de Lamberts (2004)

Dois outros fatores são fruto da composição e das características físicas dos materiais dos fechamentos: a transmitância térmica e a inércia térmica.

A transmitância térmica ( $U$ ;  $W/m^2K$ ) nos diz quanto que um fechamento permite de passagem de calor por unidade de área para a diferença de 1 grau. É o inverso da resistência total que o fechamento opõe à passagem de calor, já incluídas as resistências térmicas superficiais, tanto interna quanto externa, conforme Figura 3. A transmitância é inversamente proporcional à espessura do fechamento e diretamente proporcional a condutibilidade térmica do material que o compõe.

<sup>1</sup> brise-soleil - dispositivo arquitetônico utilizado para controlar a incidência direta de radiação solar no interior da edificação.

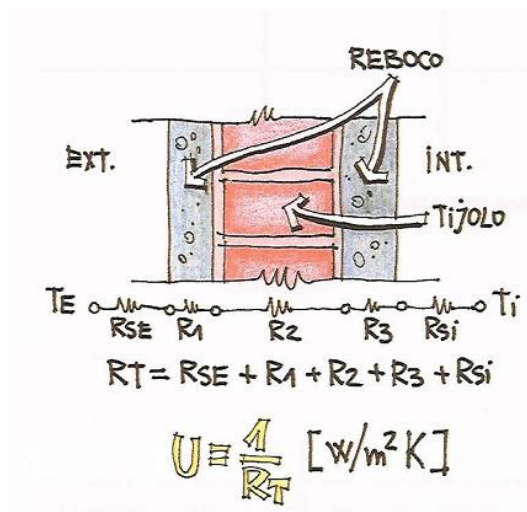


Figura 3 - Representação gráfica do cálculo de transmitância térmica

Fonte: Lamberts et al (2004)

A inércia térmica também influi diretamente nas condições térmicas do interior da edificação. Ela representa a capacidade do fechamento em reter calor em seu interior, para devolvê-lo ao ambiente apenas quando a temperatura do ar interior for menor do que a da sua superfície. Esta retenção de calor faz com que o pico de temperatura aconteça, no interior da edificação, algumas horas após o pico de temperatura externa, criando o chamado atraso térmico, que é dado em horas, e fruto dos valores de transmitância e capacidade térmica dos componentes dos fechamentos. Já o amortecimento térmico é a capacidade de diminuir a amplitude das variações térmicas externas. Frota & Schiffer (2001) salientam a significância dos fenômenos de atraso e amortecimento térmico, que juntos compõem a inércia térmica, para o comportamento térmico da edificação.

### 2.3. Desempenho Termoenergético

Uma das formas de se avaliar o desempenho térmico de uma edificação é verificar se este oferece conforto térmico aos seus usuários.

Segundo a ASHRAE 55 (2010), em uma definição subjetiva, “conforto térmico é o estado mental que expressa satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda”.

Outra definição, com fundamentação fisiológica, diz que o conforto térmico de um indivíduo se alcança quando as condições do meio permitem que o sistema termorregulador esteja em estado de mínima tensão (Rivero, 1985). Os mecanismos do sistema termorregulador atuam com a finalidade de manter a temperatura interna do organismo

constante, quando as condições térmicas do meio ultrapassam certas faixas. No frio, com o objetivo de evitar as perdas térmicas do corpo ou aumentar a produção interna de calor e, no calor, incrementando as perdas ou reduzindo a produção interna de calor.

Segundo RIVERO (1985, p. 61) “os intercâmbios térmicos entre o homem e o meio estão governados por múltiplas variáveis”. Algumas dependem do próprio homem, sendo as principais a atividade que realiza e as roupas que usa, além da idade, sexo e aclimação, e outras estão relacionadas diretamente ao espaço habitado e, dentre estas, as principais são a temperatura e umidade do ar, a temperatura média radiante e a velocidade do ar.

Para a verificação das condições de conforto térmico normalmente são fixados a vestimenta do indivíduo e o tipo de atividade e, a partir daí, com os dados obtidos para as variáveis ambientais, que dependem do espaço habitado e do seu uso, são desenvolvidos os índices de conforto térmico. Os pesquisadores, para esta análise, se dividem em dois grandes grupos: trabalham com o balanço de calor ou com uma abordagem adaptativa.

### 2.3.1. Normas Internacionais

Fanger (1972), através de um trabalho experimental que avaliou a sensação de pessoas de diferentes nacionalidades, idades e sexo, desenvolveu uma equação geral de conforto. A partir dos dados de temperatura, velocidade e umidade relativa do ar, temperatura média radiante, além da atividade física e da vestimenta, obtém-se um índice, chamado de PMV (voto médio predito), em uma escala de 7 pontos (de -3 a +3), e que representa uma escala de sensação térmica, com base no equilíbrio térmico do corpo humano. O PMV para conforto térmico é zero, os números negativos representam a sensação térmica de frio e os positivos de calor, conforme Figura 4.

+3	•Muito quente
+2	•Quente
+1	•Levemente quente
0	•Neutro
-1	•Levemente frio
-2	•Frio
-3	•Muito frio

Figura 4 - Escala Sétima da ASHRAE

Fonte: Lamberts et al (2011)

A partir daí foi implementado o conceito de PPD (percentual de pessoas insatisfeitas), índice que procura prever o percentual de pessoas que poderão se sentir termicamente desconfortáveis. O gráfico representado na Figura 5 inter-relaciona estes dois índices.

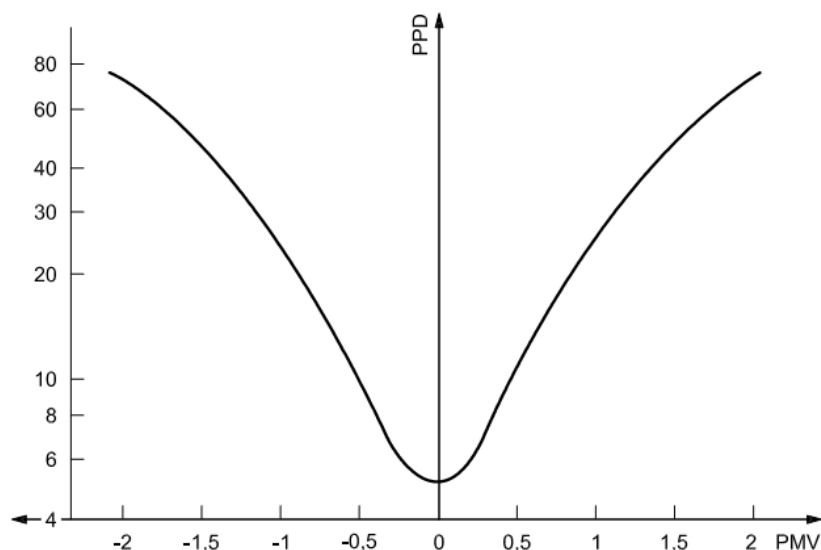


Figura 5 - Gráfico PMV x PPD

Fonte: ISO 7730 - 2005

O estudo de FANGER serviu de base para o desenvolvimento de uma norma internacional, a ISO 7730 (1984), denominada de *Ambientes Termicamente Moderados – determinação dos índices PMV X PPD e especificação das condições térmicas*, passando por revisões em 1994 e 2005, que incorporaram avanços das técnicas ou novos entendimentos sobre conforto térmico, com base em trabalhos de pesquisadores da área.

Voltani (2005) elaborou uma síntese bibliográfica sobre os trabalhos mais relevantes que serviram de base para as mudanças que foram incorporadas à versão de 2005 da norma, sendo que a maioria deles foi realizado em câmaras controladas, com o objetivo de encontrar a sensação térmica de pessoas expostas a diferentes combinações das variáveis ambientais.

Entre as alterações mais significativas a versão de 2005, em relação à aceitabilidade do ambiente térmico, adicionou tabelas com categorias de conforto térmico. A Tabela 2 - Categorias de Conforto Térmico indica a possibilidade de extensão da zona de conforto para valores de PMV situados entre -0,7 e + 0,7 e de percentual de pessoas insatisfeitas (PPD) para 15%, com a adição de uma nova categoria (C), alterando os limites anteriores de PMV (entre -

0,5 e +0,5) e de PPD (10%), desde que obedecidos simultaneamente outros critérios quanto ao desconforto local.

Tabela 2 - Categorias de Conforto Térmico

Categoria	Estado térmico do corpo		Desconforto local			
	PPD (%)	PMV	DR (%)	PD (%)		
				causada por		
				diferença vertical de temperatura do ar	piso quente ou frio	assimetria radiante
<b>A</b>	<b>&lt;6</b>	<b>-0,2 &lt;PMV&lt;0,2</b>	<b>&lt; 10</b>	<b>&lt; 3</b>	<b>&lt; 10</b>	<b>&lt; 5</b>
<b>B</b>	<b>&lt;10</b>	<b>-0,5 &lt;PMV&lt;0,5</b>	<b>&lt; 20</b>	<b>&lt; 5</b>	<b>&lt; 10</b>	<b>&lt; 5</b>
<b>Categoria</b>	<b>&lt;15</b>	<b>-0,7 &lt;PMV&lt; 0,7</b>	<b>&lt; 30</b>	<b>&lt; 10</b>	<b>&lt; 15</b>	<b>&lt; 10</b>

Fonte: adaptada de ISO 7730 - 2005

Quanto à adaptação a ISO 7730 – 2005 entende que são necessárias maiores observações, fundamentada nos resultados dos experimentos em espaços naturalmente ventilados, para climas quentes, onde as condições térmicas do espaço podem ser reguladas pelos ocupantes através do controle das janelas, de Dear e Brager (1998) e Brager e de Dear (2000). Neste caso é indicado que, para a determinação do intervalo aceitável de temperatura operativa, possa ser utilizado o valor de isolamento das roupas que corresponde aos hábitos de vestuário e clima locais. Além disso, conforme já referenciado nas normas ISO 7933 e ISO 7243, pessoas acostumadas a trabalhar e viver em climas quentes podem mais facilmente aceitar e manter um desempenho superior de trabalho em ambientes quentes do que pessoas que vivem em climas mais frios. Nestes casos a norma indica que poderiam ser aceitáveis valores maiores de PMV do que os referenciados na Tabela 2.

A American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) é responsável pela edição das normas de conforto térmico mais difundidas e referenciadas internacionalmente. Em sua última revisão (ANSI/ASHRAE Standard 55-2010) incluiu um método com base no modelo adaptativo de conforto térmico, em função das muitas discussões sobre o assunto. Os três métodos utilizados estão descritos a seguir. Em todos eles a temperatura operativa é usada como base para aplicação e determinação da zona de conforto.

O primeiro método é o gráfico para ambientes típicos, que admite uma taxa de insatisfeitos de 20%, sendo 10% em relação ao índice PMV x PPD e 10% adicionais por

desconforto local. O método é válido para ambientes com atividade leve, o que representa taxas metabólicas entre 1,0 e 1,3met, o isolamento térmico das roupas deve estar entre 0,5 e 1,0clo e a velocidade do ar de até 0,2m/s.

O segundo método utiliza um modelo computacional que atende taxas metabólicas maiores, entre 1,0 e 2,0met e isolamento térmico de até 1,5clo. A velocidade do ar é de 0,2m/s e o índice PMV é utilizado para a determinação da zona de conforto, porém com PPD máximo de 10% e PMV situado entre -0,5 e +0,5. Valores maiores de velocidade do ar podem ser utilizados para aumentar a temperatura operativa limite e estender a zona de conforto, em algumas situações, em qualquer dos dois métodos.

Para qualquer dos métodos são estipulados limites para umidade do ar, velocidade de elevação da temperatura, desconforto térmico local e variação de temperatura no tempo.

Além destes dois há um método opcional, com base em um banco de dados criado pela ASHRAE, com informações de edifícios e seus usuários, reunindo aproximadamente 21.000 conjuntos de dados, de cinco continentes. Estes edifícios foram separados em dois grupos: naturalmente ventilados, e com controle central de aquecimento, ventilação e sistema de condicionamento do ar (HVAC). As conclusões do trabalho de Dear e Brager(2002), baseadas neste banco de dados, indicou que o método da ASHRAE só era adequado para edifícios com condicionamento artificial. Foi proposto então um novo método, o modelo adaptativo, válido apenas para espaços naturalmente ventilados, no qual as condições térmicas do ambiente são reguladas pelos ocupantes, através do controle de abertura das janelas e da livre escolha das vestimentas. A atividade deve ser leve, entre 1,0 e 1,3met e não é necessário estimar os valores de umidade e velocidade do ar. A temperatura operativa de conforto é determinada através da Equação 1, que estabelece uma relação direta com a temperatura média mensal do exterior. Para a utilização deste modelo as médias mensais de temperatura externa devem estar situadas entre 10 e 33,5°C, obrigatoriamente.

$$T_{oc} = 18,9 + 0,255 T_{ext} \quad (1)$$

Os dois conjuntos de temperatura operativa limites, mostrados na Figura 6, indicam os dois intervalos de aceitabilidade, de 90 e 80%, que definem qual o padrão de conforto térmico desejado.

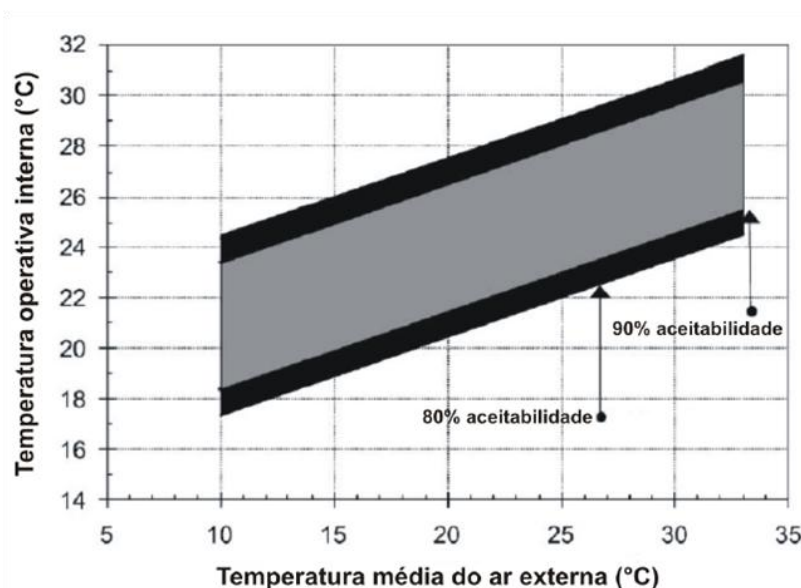


Figura 6 - Faixas de Temperaturas Operativas Aceitáveis para Espaços Condicionados Naturalmente

Fonte: Adaptado de ASHRAE 55 - 2010

Esta metodologia, porém, não leva em conta a umidade relativa do ar, fator climático muito importante tanto no verão, pela evaporação do suor, quanto no inverno, pela influência da alta condutividade da água nas trocas por condução, e que foi utilizado na metodologia do desenvolvimento do zoneamento bioclimático nacional.

Givoni, em 1969, desenvolveu uma carta bioclimática plotada sobre o diagrama psicrométrico, baseada nas temperaturas internas do edifício, na qual, a partir dos dados de temperatura e umidade relativa do ar do ambiente exterior, são definidas as estratégias bioclimáticas adequadas para buscarmos a zona de conforto no interior da edificação. A faixa aceitável para temperatura do ar, para países desenvolvidos, é de 18 à 25°C no inverno e de 20 à 27°C no verão, sendo que os limites superiores de temperatura são aplicados para baixos níveis de umidade do ar. Em trabalho posterior, buscando direcionar seus estudos para habitantes de países quentes e em desenvolvimento, Givoni (1992) estendeu a zona de conforto para edifícios ventilados naturalmente em países de clima quente, elevando para 29°C a temperatura máxima para verão, admitindo que moradores destes locais aceitam normalmente uma grande variação de temperatura e velocidade do ar, demonstrando uma melhor aclimação, em função da maior convivência com edifícios não condicionados.

Silva (1994) aplicou os índices de PMV sobre os limites da zona de conforto estabelecida por Givoni, obtendo os valores de PMV descritos na Tabela 3. Nesta aplicação a

temperatura radiante média foi considerada igual a temperatura do ar, a taxa metabólica estabelecida foi para uma pessoa deitada e relaxada ( $58\text{W/m}^2$ ) e a vestimenta variou de 0,5 à 1,4 clo, variação possível devido à aclimação natural nos ambientes residenciais.

Tabela 3 - Aplicação do PMV sobre os limites da zona de conforto de GIVONI (1992)

Temp. do Ar (°C)	Umid. Relat. (%)	Vel. do Ar (m/s)	Metabolismo (W/m <sup>2</sup> )	Vestimenta (clo)	PMV
29	50	0,25	58	0,5	0,9
29	12	0,25	58	0,5	0,5
26,7	75	0,25	58	0,5	0,2
25,5	80	0,25	58	0,5	-0,1
18	80	0,15	58	1,2	-0,8
18	28	0,15	58	1,4	-0,8

Fonte: adaptado de Silva (1994)

Silva demonstrou que os limites de Givoni se encontram, praticamente em sua totalidade, dentro dos limites de conforto de PMV, o que valida a utilização da zona de conforto estabelecida por Givoni. Cabe salientar que no trabalho original de Fanger, tomado como referência por Silva (1994), era considerado conforto o PMV de -0,8 à +0,8, correspondente a um PPD de 20%.

A carta de Givoni, representada na Figura 6, foi considerada a mais adequada para o Brasil, e serviu de base para diversos trabalhos e normas no país, inclusive a NBR 15220, objeto de estudo deste trabalho. Nela, os limites de conforto para o verão situam-se entre 20 e 29°C e, para o inverno, entre 18 e 27°C.



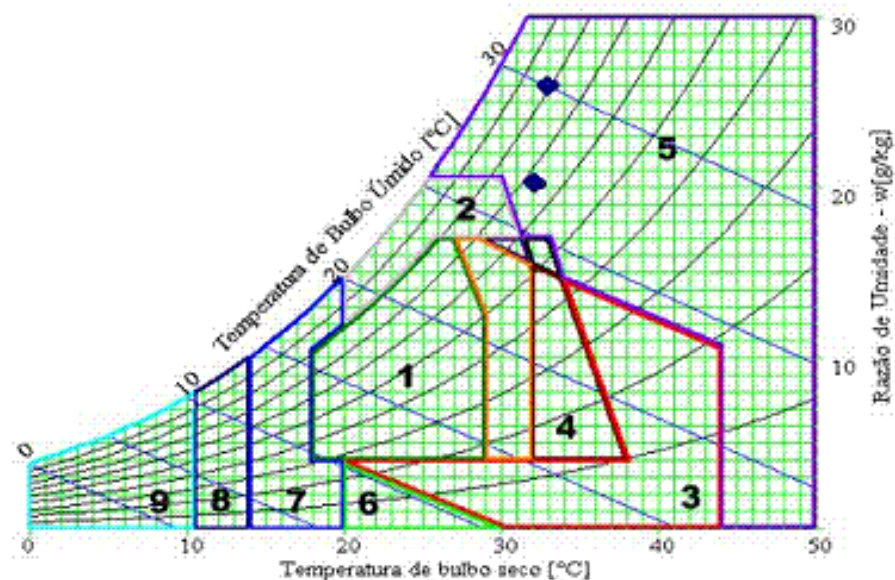


Figura 7 - Carta Bioclimática de Givoni

Fonte: [www.uri.br](http://www.uri.br) (2011)

Os limites de aplicabilidade de estratégias bioclimáticas para países em desenvolvimento, definidos a partir da Carta Bioclimática de Givoni, estão indicados abaixo:

1. Zona de Conforto
2. Zona de Ventilação
3. Zona de Resfriamento Evaporativo
4. Zona de Massa Térmica para Resfriamento
5. Zona de Ar Condicionado
6. Zona de Umidificação
7. Zona de Massa Térmica para Aquecimento
8. Zona de Aquecimento Solar Passivo
9. Zona de Aquecimento Artificial

### 2.3.2. Horas de Desconforto e Graus-Hora

Barbosa (1997) procurou desenvolver uma metodologia para avaliação do desempenho térmico em edificações térreas unifamiliares, buscando estabelecer como critério

de avaliação de desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares o número de horas de desconforto, isto é, o número de horas em que as temperaturas internas na edificação estão fora da zona de conforto. Em seu trabalho a temperatura de conforto foi estabelecida entre 18 e 29°C, a zona de conforto de Givoni (1992), para países de clima quente e em desenvolvimento.

Primeiramente, Barbosa indicou como um padrão aceitável 1000 horas de desconforto anuais para uma habitação social. Em trabalho posterior, Barbosa et al (2003) revisou este valor para cerca de 1752 horas, ou seja, 20% do período anual.

Já o conceito de graus-hora de desconforto é muito utilizado como um parâmetro de análise de eficiência energética, sendo definido como sendo o somatório da diferença de temperatura horária, quando esta se encontra acima de uma temperatura base, no caso de resfriamento ou abaixo da temperatura base, para graus-hora de aquecimento, conforme Figura 8. Ele é muito utilizado para se estimar a energia requerida para refrigeração de um ambiente (SZOKOLAY, 1987).

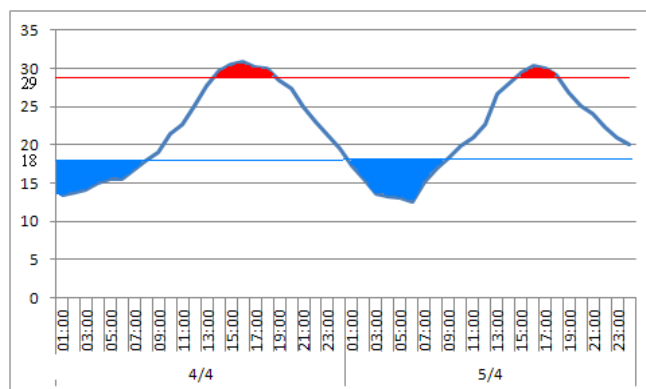


Figura 8- Representação gráfica dos graus-hora de aquecimento e resfriamento

### 2.3.3. Normas Nacionais

As primeiras normas de desempenho térmico surgiram com o intuito de reduzir o consumo de energia necessário para o funcionamento dos sistemas artificiais, principalmente de condicionamento de ar. Sendo assim elas buscavam basicamente limitar as perdas de calor nos ambientes internos e, para isso, trabalhavam fixando os limites máximos das propriedades térmicas dos elementos e componentes da edificação.

Segundo Akutsu e Vittorino (1997), este modelo não seria o mais indicado para os países de clima quente, por tratar as trocas térmicas entre exterior e interior através de uma

condição de regime permanente, que não leva em consideração, de forma adequada, elementos como a radiação solar e a ventilação, principalmente em edificações não condicionadas.

#### 2.3.3.1. NBR 15220

A primeira norma nacional nesta área, a NBR 15220 (ABNT, 2005), possui cinco partes que descrevem a respeito de métodos de cálculo e de medição de propriedades térmicas dos componentes construtivos das edificações e sugere, a partir da criação de um zoneamento bioclimático brasileiro, estratégias bioclimáticas e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, o que, de certa forma, atende às preocupações citadas no trabalho de Akutsu e Vittorino (1997).

A Parte 3 da NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações (ABNT, 2005c) apresenta recomendações quanto ao desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social aplicáveis na fase de projeto. A partir dela é possível realizar uma avaliação por prescrição na edificação, verificando-se o cumprimento de determinados limites para as propriedades térmicas dos componentes construtivos dos fechamentos.

Além disso, com base em um zoneamento bioclimático brasileiro (Figura 9), que foi estabelecido a partir da adaptação da Carta Bioclimática de Givoni (1992), são propostas algumas recomendações de estratégias de condicionamento térmico passivo (ventilação cruzada, resfriamento evaporativo, massa térmica, etc.), entre os quais o tamanho das aberturas para ventilação, a proteção das aberturas e as características das vedações externas.

A zona bioclimática 2, que será objeto de estudo deste trabalho, responde por 6,4 % do território nacional. Nessa zona se encontra a grande maioria das cidades do estado do Rio Grande do Sul, segundo classificação obtida da aplicação do programa ZBBR 1.1 (UFSCAR, 2004).

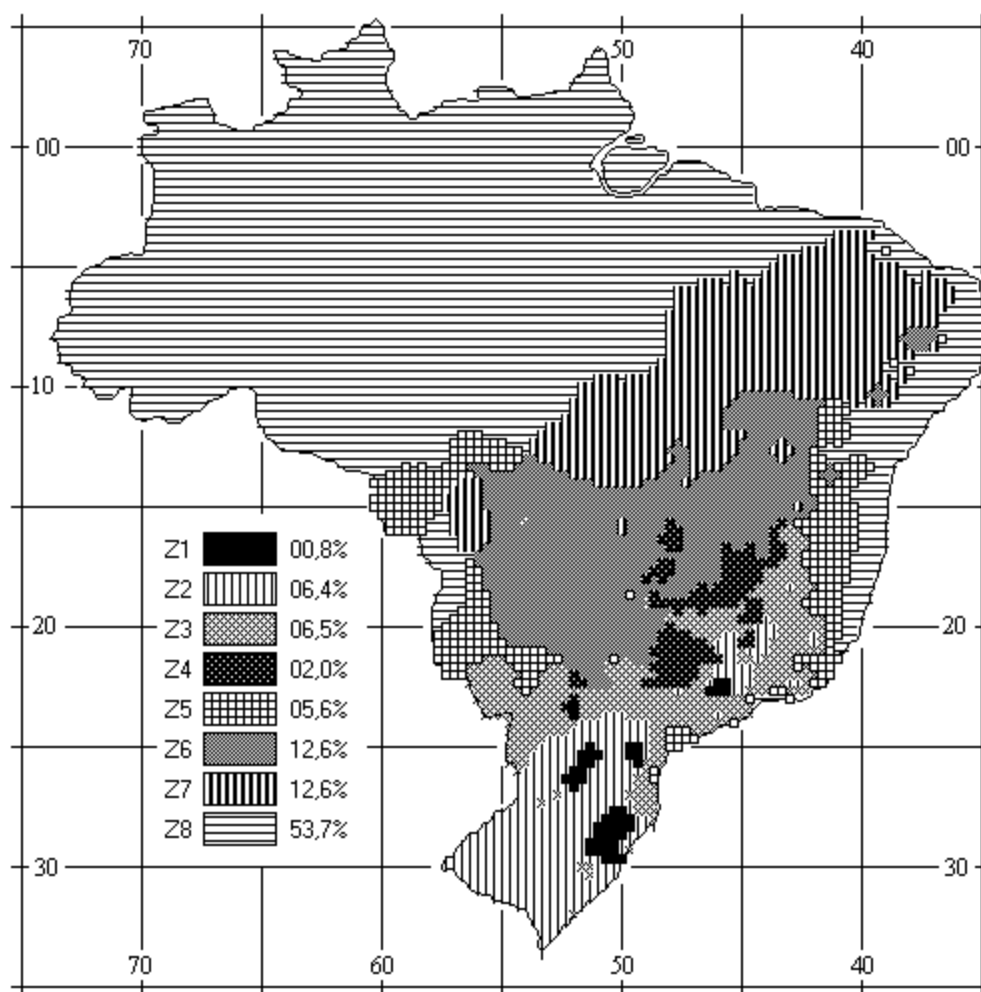


Figura 9 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro

Fonte: [www.habitare.com.br](http://www.habitare.com.br) (2011)

#### 2.3.3.2. NBR 15575

A NBR 15575 (ABNT,2012) estabelece requisitos e critérios de desempenho que se aplicam a edifícios habitacionais de até cinco pavimentos. Para avaliar o desempenho higrotérmico são analisadas as condições de conforto no verão e no inverno, através de três procedimentos alternativos normatizados - análise simplificada, medição e simulação - levando em conta o zoneamento bioclimático definido pela NBR 15220 – parte 3.

O primeiro procedimento é a análise simplificada. Neste método notam-se variações em relação aos valores indicados pela NBR 15220, visto que a verificação do atendimento aos requisitos estabelecidos inclui a capacidade térmica dos fechamentos, em detrimento do atraso térmico. O fator de calor solar é substituído por classificações em relação à absorvância solar dos fechamentos e, quanto à transmitância admitida não existem grandes variações em relação

aos valores, mas é evidente a disposição de se isolar esta variável da capacidade térmica e da absorvência solar, ao retirar-se o atraso térmico e o fator de calor solar da análise.

Este procedimento de análise simplificada avança no sentido de uma análise do projeto arquitetônico, ao estabelecer vãos mínimos e sombreamento para janelas e aberturas para ventilação, em função de parâmetros definidos para cada zona bioclimática. Porém, se a análise por este método não atender à norma, poderão ser utilizados os outros procedimentos normatizados, considerando-se que o desempenho térmico do edifício depende do comportamento interativo da fachada, cobertura e piso.

Para os demais procedimentos são estipuladas condições de conforto tanto para o verão quanto para o inverno, em função da relação entre as temperaturas externa e interna, e o que diferencia os métodos é a forma de se obter os dados, ou pelo processo de simulação ou por medição. Em qualquer dos processos devem ser analisados dias típicos, tanto de verão quanto de inverno.

No dia típico de verão as condições térmicas do interior da edificação devem ser melhores ou iguais às do ambiente externo, à sombra, para que a edificação atinja o nível mínimo de desempenho. A simulação deve ser feita apenas para os locais de permanência prolongada e sem a presença de fontes internas de calor (ocupantes, lâmpadas, outros equipamentos em geral). Os níveis de desempenho podem ser ainda intermediário ou superior, conforme Tabela 4, a seguir.

Tabela 4 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
Mínimo	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
Intermediário	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^{\circ}\text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 1^{\circ}\text{C})$
Superior	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4^{\circ}\text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^{\circ}\text{C})$ e $T_{i,min} \leq (T_{e,min} + 1^{\circ}\text{C})$
Ti,max é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus centrígrados		
Te,max é o valor máximo diário da temperatura do ar no exterior à edificação, em graus centrígrados		
Ti,min é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus centrígrados		
Te,min é o valor mínimo diário da temperatura do ar no exterior à edificação, em graus centrígrados		
NOTA: zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.		

Fonte: Adaptado de NBR 15575 – 2012.

No dia típico de inverno as temperaturas no ambiente interno da edificação, apenas nos ambientes de permanência prolongada, não devem ser menores que os constantes na Tabela 5 - Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno.

Tabela 5 - Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 5	Zona 6,7 e 8
Mínimo	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3^{\circ}\text{C})$	Nesta zonas, este critério não precisa ser verificado.
Intermediário	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 5^{\circ}\text{C})$	
Superior	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 7^{\circ}\text{C})$	
Ti,min é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus centrígrados		
Te,min é o valor mínmo diário da temperatura do ar no exterior à edificação, em graus centrígrados		
NOTA: zonas biclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.		

Fonte: Adaptado de NBR 15575 – 2012.

#### 2.3.3.3. RTQ-R

O RTQ-R, Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, surgiu a partir de convênio firmado em 2004, entre a ELETROBRÁS e a UFSC, onde começaram a ser definidas as bases técnicas para esta regulamentação. No estudo realizado verificou-se que as várias soluções eficientes de projeto (envoltória) em conjunto com o uso de equipamentos eficientes podem levar a diferentes níveis de classificação de eficiência de um edifício. Assim, pode-se trabalhar com uma classificação que incentive a construção de edificações cuja eficiência esteja acima dos limites mínimos requeridos por uma norma. Aplica-se à edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares e foi instituído pelo INMETRO através da portaria nº449, de 25 de novembro de 2010.

Para edificações unifamiliares avaliam-se o desempenho térmico da envoltória e a eficiência do sistema de aquecimento de água, além de eventuais bonificações. A classificação do nível de eficiência é obtido através da aplicação da Equação 2, sendo que o coeficiente “a”, constante da equação, varia de acordo com a região geográfica na qual a edificação se localiza, e busca traduzir a maior ou menor importância do sistema de aquecimento de água no consumo energético da edificação.

$$PT_{UH} = (a \times EqNumEnv) + [(1 - a) \times EqNumAA] + Bonificações \quad (2)$$

Onde:

PTUH: pontuação total do nível de eficiência da unidade habitacional autônoma;

a: coeficiente da tabela 6 - coeficiente "a" da tabela 3, adotado em função da região geográfica na qual a edificação está localizada;

EqNumEnv: equivalente numérico do desempenho térmico da envoltória da unidade habitacional autônoma, quando ventilada naturalmente;

EqNumAA: equivalente numérico do sistema de aquecimento de água;

Bonificações: pontuação atribuída a iniciativas que aumentem a eficiência da edificação.

Tabela 6 - Coeficiente "a" da tabela 3

Coeficiente	Região Geográfica				
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
A	0,95	0,90	0,65	0,65	0,65

Nota: o coeficiente da tabela 4 deve ser alterado para 0,65, nas regiões Norte e Nordeste, sempre que houver um sistema de aquecimento de água projetado ou instalado.

Fonte: INMETRO (2010)

A determinação do equivalente numérico da envoltória pode ser feita por dois métodos distintos: prescritivo ou simulação computacional.

No método prescritivo devem ser levados em conta pré-requisitos que vão desde os limites das propriedades térmicas dos fechamentos, em função do zoneamento bioclimático brasileiro, como absorvância solar, transmitância e capacidade térmica, até a possibilidade da edificação se valer da ventilação e da iluminação natural de forma adequada. Os ambientes de permanência prolongada são avaliados separadamente, em função dos indicadores de graus-hora de resfriamento (GHR) e do cálculo do consumo relativo anual para aquecimento (CA), que são obtidos através da utilização de equações de redução matemática que avaliam os ambientes separadamente, e buscam valorizar os projetos mais eficientes e que utilizam os materiais mais adequados. Após, os resultados obtidos são comparados com os valores de referência das tabelas de classificação para cada nível de eficiência energética, de A a E, e os pré-requisitos são avaliados.

Pelo método de simulação computacional deve-se modelar a edificação e realizar simulações para duas condições: naturalmente ventilada e condicionada artificialmente. Após faz-se a comparação com os mesmos valores de referência do método prescritivo. No entanto, neste método, os pré-requisitos a serem atendidos dizem respeito somente à iluminação e a ventilação natural, além de outros pré-requisitos específicos para o processo de simulação.

Para a determinação do equivalente numérico do sistema de aquecimento de água são analisados os pré-requisitos e o tipo de sistema implantado na edificação.

As bonificações visam estimular as iniciativas que aumentem a eficiência da unidade habitacional. São analisados itens referentes ao aproveitamento da ventilação e iluminação naturais, uso racional de água, condicionamento artificial de ar, iluminação artificial, entre outros.

O RTQ-R busca a valorização do projeto eficiente e da utilização correta dos materiais e componentes dos fechamentos da edificação, assim como dos equipamentos que, como consumidores de energia, podem proporcionar diferenças significativas no consumo energético das habitações.

#### 2.4. Programas de Simulação Computacional

Os programas de simulação termoenergética de edificações possibilitam quantificar, através da inserção de um arquivo climático que reproduz as condições do clima de determinada região, a influência das variáveis arquitetônicas no desempenho térmico e energético das edificações. É possível identificar o efeito que mudanças pontuais, como alteração do tipo, espessura ou cor de fechamentos, provocam no desempenho da edificação.

Uma grande vantagem da simulação computacional é que ela pode ser utilizada na fase de projeto, durante a construção ou mesmo na habitação já construída, dando condições ao arquiteto de testar soluções para a edificação a um baixo custo e sem a necessidade de intervir na mesma.

O programa *EnergyPlus*, desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, é uma fusão entre os programas BLAST e DOE-2. O primeiro é um sistema especializado em análise energética e o segundo foi utilizado para dar suporte no desenvolvimento das normas da ASHRAE – American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers - em alguns países (Melo, 2007).



O *EnergyPlus*, porém, apresenta funções mais elaboradas para simulação do balanço térmico, além de maior precisão na simulação para ambientes não condicionados (Lima, 2007). Como desvantagem sua interface de entrada de dados não é amigável, o que dificulta sua utilização pelos profissionais da área. Este problema é reduzido através da utilização dos algoritmos do *EnergyPlus* com a interface gráfica da entrada e saída de dados de outros softwares, como o Easy EnergyPlus, CYPE – Building Services, DesignBuilder, entre outros.

O *DesignBuilder*, software que será utilizado neste trabalho, dispõe de recursos amigáveis para modelagem da geometria (Figura 10) e para a inserção de dados de entrada dos sistemas construtivos e rotinas de ocupação e utilização da edificação. Possui também algumas limitações, como o fato da temperatura de controle ser única em todo o ano e o coeficiente de desempenho do ar condicionado ser direto, sem acesso às curvas de desempenho do equipamento, o que pode representar um problema substancial se o condicionamento artificial for analisado.

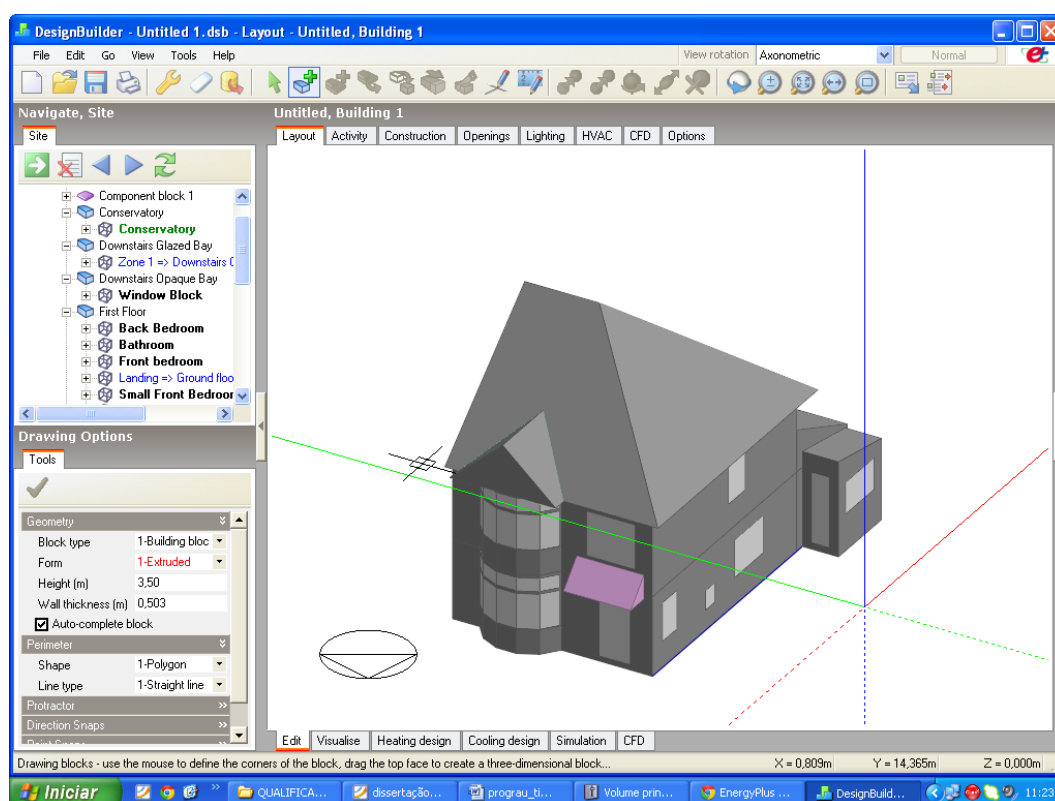


Figura 10 - Interface Gráfica do DesignBuilder

Fonte: DesignBuilder, versão 2.0.4.001.

Programas de simulação termoeenergética, como o *EnergyPlus*, são ferramentas valiosas para o projetista, mas exigem um conhecimento aprofundado a respeito das diversas variáveis envolvidas no balanço térmico de uma edificação (Batista et al, 2005). Isto é fundamental para assegurar que os dados de saída das simulações sejam analisados de forma correta, e sua aplicação na busca de edificações térmica e energeticamente eficientes possa garantir a satisfação dos usuários. Segundo MARTINS et al (2009) “toda simulação computacional representa uma simplificação da realidade em seus níveis de complexidade, que em função dos parâmetros adotados podem levar a resultados mais ou menos precisos”.

#### 2.4.1. Arquivos Climáticos

Conforme o RTQ-R (INMETRO, 2010) o arquivo climático a ser utilizado para o processo de simulação computacional deve, no mínimo, fornecer valores horários para todos os parâmetros relevantes requeridos pelo programa de simulação, como temperatura e umidade, direção e velocidade do vento, radiação solar, etc. Devem ser utilizados arquivos climáticos disponibilizados pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos ou no site do PROCEL/ELETROBRÁS, como TRY ou TMY e, além disso, os dados devem ser representativos da zona bioclimática onde o projeto está inserido.

O arquivo TRY (Teste Reference Year) representa um ano real de dados referente a um período de registro disponível de 10 anos ou mais. O procedimento para determinação de qual ano será utilizado é baseado na eliminação de anos de dados, os quais contêm temperaturas médias mensais extremas (altas ou baixas), até permanecer um ano, somente, que será o representativo daquele período (GOULART, 1993).

O arquivo TMY (Teste Meteorological Year) resulta de uma metodologia em que os meses sem extremos, provenientes de anos diferentes, é que formam o arquivo climático. É, portanto, um ano climático inexistente, criado com o objetivo de evitar os extremos de temperatura em todos os meses.

Os arquivos climáticos, para serem inseridos no *DesingnBuilder*, devem passar por um processo de conversão, resultando num arquivo tipo EPW (*EnergyPlus Weather File*), que consiste num banco de dados meteorológicos separados por vírgulas.

### 3. Método

A parte inicial do trabalho incluiu a revisão de literatura, buscando conhecimento aprofundado sobre o estado da arte nas temáticas de Arquitetura Bioclimática, Conforto Térmico, desempenho termoenergético de edificações residenciais e simulação computacional. A metodologia, propriamente dita, se desenvolveu em quatro etapas distintas.

A primeira etapa consistiu na definição do caso-base, isto é, da tipologia e geometria da edificação que foi analisada, incluindo padrões de ocupação e utilização de equipamentos, e demais parâmetros de entrada necessários para que o processo de simulação computacional pudesse ter confiabilidade nos seus dados de saída. Os limites estabelecidos pela NBR 15220-3 relativos à transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar nortearam a definição das diretrizes construtivas e materiais dos fechamentos para o caso-base, constituindo as referências de conforto térmico delimitadas pela norma, os quais foram analisados para a zona bioclimática 2.

A segunda etapa foi a modelagem e a simulação do caso-base, para a zona bioclimática 2, com a utilização do programa *EnergyPlus* com a interface gráfica do *DesignBuilder*. O arquivo climático utilizado foi um arquivo representativo da Zona Bioclimática 2: arquivo TMY da cidade de Santa Maria/RS, mesma zona bioclimática da cidade de Pelotas/RS.

Na terceira etapa foram modificadas as características do envelope da edificação, em seus fechamentos opacos (paredes e cobertura), mantendo-se as mesmas configurações de ocupação e utilização já definidas para o caso-base, criando-se assim novas configurações de fechamentos horizontais e verticais.

Na quarta etapa e última etapa da metodologia foram analisados os resultados do processo de simulação computacional, com base na carta bioclimática de Givoni avaliando

conforto térmico e através da quantificação dos graus-hora de aquecimento e resfriamento para a avaliação de eficiência energética das habitações, buscando-se uma correlação entre as variáveis envolvidas no processo que foram objeto de análise (transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar).

E, finalmente, foram redigidas as conclusões do trabalho e sugestão para trabalhos futuros.

### 3.1. Definição do Caso-Base

#### 3.1.1. Tipologia e Geometria da Edificação

Para determinação da tipologia da habitação a ser estudada verificou-se as especificações mínimas que constam no site do Ministério das Cidades para o programa Minha Casa Minha Vida “2” e o código de obras do município de Pelotas, zona bioclimática 2, buscando uma habitação que represente a tendência atual da construção civil no país. Segundo reportagem veiculada no Jornal Diário Popular (Pelotas), em 04 de outubro de 2011, estavam sendo construídas no município cerca de 1300 habitações de interesse social, sendo que a área total das mesmas estaria compreendida entre 35 e 42m<sup>2</sup>.

Com base nessas premissas foi desenvolvido um projeto de habitação que atendesse a todas as especificações. Ela possui dois dormitórios, sala e cozinha conjugadas e banheiro, totalizando 40,8m<sup>2</sup>, conforme Figura 11.

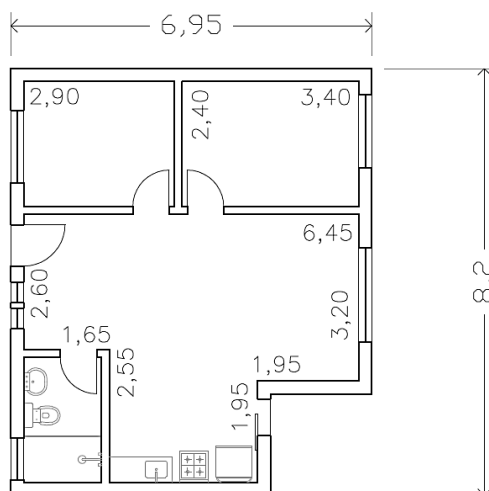


Figura 11 - Planta baixa da edificação (caso-base)

### 3.1.2. Padrões de Ocupação e Utilização

Quanto à ocupação dos ambientes foi utilizado o padrão descrito no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R, 2009), que também serviu de base para definição da taxa metabólica das atividades desempenhadas em cada ambiente, padrão de uso e densidade de potência da iluminação e cargas internas de equipamentos, conforme Tabelas 7 à 11.

Tabela 7 - Padrão de Ocupação (tabela 3.39 do RTQ-R)

Padrão de ocupação para dias de semana e final de semana				
Hora	Dormitórios		Sala	
	Dias de semana (%)	Final de semana (%)	Dias de semana (%)	Final de semana (%)
1 h	100	100	0	0
2 h	100	100	0	0
3 h	100	100	0	0
4 h	100	100	0	0
5 h	100	100	0	0
6 h	100	100	0	0
7 h	100	100	0	0
8 h	0	100	0	0
9 h	0	100	0	0
10 h	0	50	0	0
11 h	0	0	0	25
12 h	0	0	0	75
13 h	0	0	0	0
14 h	0	0	25	75
15 h	0	0	25	50
16 h	0	0	25	50
17 h	0	0	25	50
18 h	0	0	25	25
19 h	0	0	100	25
20 h	0	0	50	50
21 h	50	50	50	50
22 h	100	100	0	0
23 h	100	100	0	0
24 h	100	100	0	0

Fonte: INMETRO (2010)

Tabela 8 - Taxas metabólicas para cada atividade (tabela 3.40 do RTQ-R)

Ambiente	Atividade realizada	Calor produzido (W/m <sup>2</sup> )	Calor produzido para área de pele = 1,80m <sup>2</sup> (W)
Sala	Sentado ou assistindo TV	60	108
Dormitórios	Dormindo ou descansando	45	81

Fonte: INMETRO (2010)

Tabela 9 - Padrão de uso da iluminação (tabela 3.41 do RTQ-R)

Padrão de iluminação para dias de semana e final de semana				
Hora	Dormitórios		Sala	
	Dias de semana (%)	Final de semana (%)	Dias de semana (%)	Final de semana (%)
1 h	0	0	0	0
2 h	0	0	0	0
3 h	0	0	0	0
4 h	0	0	0	0
5 h	0	0	0	0
6 h	0	0	0	0
7 h	100	0	0	0
8 h	0	0	0	0
9 h	0	100	0	0
10 h	0	0	0	0
11 h	0	0	0	100
12 h	0	0	0	100
13 h	0	0	0	0
14 h	0	0	0	0
15 h	0	0	0	0
16 h	0	0	0	0
17 h	0	0	100	100
18 h	0	0	100	100
19 h	0	0	100	100
20 h	0	0	100	100
21 h	100	100	100	100
22 h	100	100	0	0
23 h	0	0	0	0
24 h	0	0	0	0

Fonte: INMETRO (2010)

Tabela 10 - Densidade de potência instalada de iluminação ( tabela 3.42 do RTQ-R)

Ambiente	DPI (W/m <sup>2</sup> )
Dormitórios	5,0
Sala	6,0

Fonte: INMETRO (2010)

Tabela 11 - Carga interna de equipamentos (tabela 3.43 do RTQ-R)

Ambiente	Período	Potência (W/m <sup>2</sup> )
Sala	24 h	1,5

Fonte: INMETRO (2010)

### 3.1.3. Definição da Temperatura do Solo

A temperatura do solo nas simulações, principalmente nas edificações térreas, é um parâmetro muito importante, pois as trocas de calor entre o piso e o solo são determinantes no resultado final das trocas de calor do ambiente.

Em relação à temperatura do solo foi utilizado o programa *SLAB*, do *EnergyPlus*, para calcular a temperatura média do solo para cada mês do ano, com base nos valores médios de temperaturas internas e externas da edificação para o clima escolhido, levando em conta sua geometria, elementos construtivos e padrões de uso e ocupação.

Estudo realizado por Oliveira et al (2012) teve por objetivo verificar a influência da escolha da forma de inserção da temperatura do solo no programa de simulação, para a zona bioclimática 2. No referido trabalho foi feita a análise do conforto térmico obtido no interior da edificação, através da aplicação do programa *Analysis-Bio* (UFSC, 2010), em uma habitação modelada e simulada através do programa *DesignBuilder*, dentro dos padrões mínimos exigidos pelo programa Minha Casa Minha Vida, do Governo Federal, e com os padrões de ocupação e utilização do RTQ-R. A edificação foi modelada com materiais de baixa e alta transmitância térmica nos seus fechamentos opacos (1,00 e 5,00 W/m<sup>2</sup>K, respectivamente), além do caso-base, que utiliza os limites das propriedades térmicas estabelecidos pela NBR 15220-3. Os resultados obtidos indicaram a importância da utilização da metodologia do RTQ-R para inserção da temperatura do solo (programa *SLAB*) no programa de simulação, em detrimento a simplificação normalmente utilizada com as médias mensais do arquivo climático utilizado, além de demonstrar que a influência da temperatura

do solo no balanço térmico da edificação é significativamente maior quanto mais isolada for a edificação.

Além disso, a simples alteração dos valores de transmitância de paredes e cobertura, mantendo-se os demais parâmetros de entrada do programa, como padrões de utilização e ocupação, ventilação, fechamentos transparentes, sombreamento, entre outros, não influenciou significativamente nos valores obtidos para a temperatura do solo obtida pelo programa *SLAB*, o que permite que, além do caso-base, todas as demais configurações do envelope da edificação que serão simuladas possam utilizar os mesmos valores de temperatura do solo, definidos na Tabela 12.

Tabela 12 - Temperatura do solo para o caso-base e demais configurações de fechamentos

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
(°C)	26	25	25	24	20	19	20	19	19	21	21	23

#### 3.1.4. Fechamentos Verticais e Horizontais

Para a caracterização dos materiais e elementos construtivos que compõem os fechamentos, inicialmente, com base na NBR 15220-3, foram definidas as propriedades térmicas de paredes externas e cobertura, em função do zoneamento bioclimático. Para a zona bioclimática 2 as paredes devem ser leves e a cobertura leve e isolada. A Tabela 13 indica as propriedades que constam na norma como limites para as vedações externas.

Tabela 13 - Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação

Vedações externas		Transmitância Térmica - U W/m <sup>2</sup> .K	Atraso Térmico - $\phi$ Horas	Fator de Calor Solar - FCS %
Paredes	Leve	$U \leq 3,00$	$\phi \leq 4,3$	$FCS \leq 5,0$
	Leve Refletora	$U \leq 3,60$	$\phi \leq 4,3$	$FCS \leq 4,0$
	Pesada	$U \leq 2,20$	$\phi \geq 6,5$	$FCS \leq 3,5$
Coberturas	Leve Isolada	$U \leq 2,00$	$\phi \leq 3,3$	$FCS \leq 6,5$
	Leve Refletora	$U \leq 2,30.FT$	$\phi \leq 3,3$	$FCS \leq 6,5$
	Pesada	$U \leq 2,00$	$\phi \geq 6,5$	$FCS \leq 6,5$

Fonte: Adaptado de NBR 15220-3, anexo C, tabela C.2 (2005).



### 3.1.5. Ventilação Natural

São duas as possibilidades de termos trocas entre o ar exterior e o ar interior nas edificações: a ventilação e as infiltrações. A ventilação é a introdução intencional de ar do exterior para o interior do edifício (ASHRAE, 2009). Ela se divide em ventilação natural, que pode ser causada tanto por diferenças de pressão quanto de temperatura, e ventilação forçada ou mecânica, que utiliza ventiladores, exaustores e insufladores, para proporcionar a movimentação do ar para dentro ou para fora do ambiente. A infiltração é o fluxo incontrolado de ar de fora para dentro da edificação, através de frestas e uso de portas externas para circulação de pessoas (ASHRAE, 2009).

A utilização da ventilação cruzada é a estratégia de condicionamento térmico passivo indicada para a zona bioclimática 2, para a obtenção de conforto térmico no período de verão.

Em função disto é fundamental buscarmos parâmetros de entrada, que influenciam na ventilação e infiltração, corretos, para inserção no programa de simulação termo-energética, para não correremos riscos de analisarmos os dados de saída (conforto e eficiência) alicerçados em valores de entrada irreais.

O Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R, 2009) estabelece alguns parâmetros importantes para a modelagem do sistema de ventilação natural da edificação, como o coeficiente de rugosidade do entorno, os coeficientes de pressão superficial, o coeficiente de descarga para janelas e portas e o coeficiente do fluxo de ar por frestas.

O coeficiente de rugosidade do entorno ( $\alpha$ ) busca representar os obstáculos à circulação do vento no entorno da edificação. A ASHRAE Handbook of Fundamental (2001) estabelece os seguintes valores para o coeficiente  $\alpha$ , indicados na Tabela 14.

Tabela 14 - Valores de expoentes e camada limite para diferentes categorias de terreno.

Categoria do terreno	Descrição	Expoente ( $\alpha$ )	Camada Limite ( $\delta$ )
1	Grandes centros urbanos nos quais pelo menos 50% das edificações são maiores do que 21m	0,33	460
2	Terreno urbano, subúrbio, áreas com árvores, áreas com espaçamento entre obstruções do tamanho ou maiores do que casas unifamiliares	0,22	370
3	Terreno aberto com poucas obstruções, geralmente menores do que 10m de altura.	0,14	270
4	Áreas desobstruídas próximas a grandes corpos de água, não mais do que 500m terra adentro.	0,10	210

Fonte: ASHRAE 2010

O RTQ-R (INMETRO, 2009), baseado na ASHRAE (2009), recomenda os valores de 0,33 e 460 para o coeficiente de rugosidade e camada limite. Estes valores indicam que o terreno está em um centro urbano, no qual pelo menos 50% das edificações possuem alturas maiores do que 21m, e deve ser utilizado mesmo que a unidade habitacional estudada não esteja localizada em locais deste tipo.

Como o RTQ-R (INMETRO, 2009) busca determinar o nível de eficiência tanto de unidades habitacionais autônomas quanto de edificações multifamiliares, que podem estar inseridas nos centros urbanos, estes valores são indicados, pois representam a pior condição possível para a circulação dos ventos. Porém o nosso objeto de estudo são habitações de interesse social que, normalmente, estão dispostas em loteamentos mais afastados do centro urbano. Em função disto utilizaremos a categoria de terreno “2” da tabela da ASHRAE, que indica valores de 0,22 e 370 para o coeficiente de rugosidade e a camada limite.

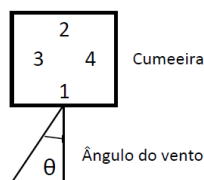
O coeficiente de pressão ( $C_p$ ) é o quociente adimensional da pressão dinâmica medida em um determinado ponto da edificação pela pressão dinâmica do fluxo de ar não perturbado, isto é, a pressão no local da edificação. Representa as mudanças de pressão

induzidas pelo vento ao redor da edificação, e varia de acordo com a rugosidade e a topografia do terreno, bem como com a geometria da edificação.

A correta definição do coeficiente de pressão é fundamental para verificar se as estratégias de ventilação adotadas para a edificação estão corretas, como tamanho e posição das aberturas, além do sombreamento das mesmas.

O RTQ-R (INMETRO, 2009) recomenda algumas formas de determinação de  $C_p$ , como estimativa através de experimentos em túnel de vento, banco de dados de medições em túnel de vento ou calculados pelas equações de Swami e Chandra (1988) e Akins et al (1979), para superfícies de edificações baixas e altas, respectivamente. O programa *DesignBuilder* é fornecido com uma base de dados de coeficientes de pressão do vento que Liddament (1986) compilou, a partir de vários experimentos, e que consideram construções de baixa elevação com geometria simples, com uma relação de comprimento x largura de 1:1 e o nível de referência da velocidade do vento na altura do edifício, como a habitação de interesse social que será simulada. Os valores dos coeficientes de pressão em relação ao ângulo de incidência do vento na superfície estão indicados na Tabela 15, adaptada de Liddament (1986).

Tabela 15 - Coeficientes de pressão do vento para edificações comuns com tipologia simples



Ângulo do Vento								
Local	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Fachada 1	0,2	0,05	-0,25	-0,3	-0,25	-0,3	-0,25	0,05
Fachada 2	-0,25	-0,3	-0,25	0,05	0,2	0,05	-0,25	-0,3
Fachada 3	-0,25	0,05	0,2	0,05	-0,25	-0,3	-0,25	-0,3
Fachada 4	-0,25	-0,3	-0,25	-0,3	-0,25	0,05	0,2	0,05
Telhado (<10° de inclinação)								
Frente	-0,5	-0,5	-0,4	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4	-0,5
Fundo	-0,5	-0,5	-0,4	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4	-0,5
Média	-0,5	-0,5	-0,4	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4	-0,5
Telhado (>11°-<30 de inclinação)								
Frente	-0,3	-0,4	-0,5	-0,4	-0,3	-0,4	-0,5	-0,4
Fundo	-0,3	-0,4	-0,5	-0,4	-0,3	-0,4	-0,5	-0,4
Média	-0,3	-0,4	-0,5	-0,4	-0,3	-0,4	-0,5	-0,4
Telhado (>30° de inclinação)								
Frente	0,25	-0,3	-0,5	-0,3	-0,4	-0,3	-0,5	-0,3
Fundo	-0,4	-0,3	-0,5	-0,3	0,25	-0,3	-0,5	-0,3
Média	-0,08	-0,3	-0,5	-0,3	-0,08	-0,3	-0,5	-0,3

Fonte: adaptado de Liddament (1986)

Coeficiente de descarga é o valor entre zero e um que nos dá a parcela útil de energia para ventilação. Ela depende, preponderantemente, da geometria da abertura, e segundo Mattos (2007) e Cóstola (2006), o valor de 0,6 para aberturas retangulares, é o mais comumente utilizado, e confirma as indicações do RTQ-R.

O fluxo de ar por frestas, responsável pela maior parte das infiltrações na edificação, pode ser determinado através da equação:

$$Q = C_Q (\Delta P)^n$$

onde: Q é o fluxo da massa de ar (kg/s);

$C_Q$  é o coeficiente do fluxo de massa de ar (kg/s.m);

$\Delta P$  é a diferença de pressão através da fresta (Pa);

$n$  é o expoente do fluxo de ar.

Os valores indicados pelo RTQ-R e utilizados neste trabalho são de 0,001 Kg/s.m para o coeficiente do fluxo de massa de ar ( $C_Q$ ) e 0,65 para o expoente de fluxo de ar ( $n$ ).

O RTQ-R, em relação à ventilação natural, também estabelece padrões de uso possíveis, como o controle através de padrões horários de abertura e fechamento das aberturas ou estratégias de controle automático, por temperatura ou entalpia.

Neste trabalho, a edificação será analisada utilizando o padrão de uso da ventilação natural com controle automático por temperatura. Nesta opção as janelas somente serão abertas se, concomitantemente, a temperatura do ar no interior da edificação estiver acima da temperatura de *setpoint* de refrigeração e também for maior que a temperatura do ar no exterior. Além disso, o horário de funcionamento deve estar habilitando para utilização da ventilação natural. Como a edificação possui venezianas nas aberturas, proporcionando controle de entrada de radiação solar e segurança, as janelas estão habilitadas para abertura nas 24 horas do dia. A temperatura de setpoint foi definida em 25°C, com base em trabalho de Martins et al (2009).

#### 3.1.6. Operação de Venezianas

O dispositivo de sombreamento adotado foi uma veneziana horizontal de madeira na cor branca, refletância de 0,8, cuja condutividade térmica é de 0,23W/m.K. O programa *DesignBuider* possui diversas opções de controle do dispositivo de sombreamento, desde uma rotina de abertura e fechamento programada pelo usuário até controles automáticos em função da radiação solar ou de temperatura, tanto interna quanto externa.

Para definir qual tipo de controle será utilizado no processo de simulação foram feitas algumas simulações, utilizando as configurações do caso-base. Foram definidos três tipos de controles: rotinas de utilização, controle em função da temperatura interna do ambiente e controle através da entrada de radiação solar pela janela.

No primeiro tipo de controle o sombreamento é controlado apenas pela programação previamente definida pelo usuário, sem a interferência de nenhuma outra variável. No controle por temperatura interna o usuário define um *setpoint* de temperatura interna que, se

ultrapassado, acionará o sombreamento fechando a persiana. E, no terceiro tipo de controle, pela radiação solar, o sombreamento será ligado quando a radiação solar direta mais a radiação solar difusa solar na janela exceder o *setpoint* ( $\text{W/m}^2$  ou  $\text{BTU/hr.ft}^2$ ) especificado.

A rotina de abertura e fechamento das venezianas procurou atender, primeiramente, aos critérios de segurança, ao mantê-las fechadas durante a noite, e também às recomendações da NBR 15220 – 3. Elas indicam que, para a zona bioclimática 2, durante o período de inverno, as janelas permitam a entrada de radiação solar na edificação. Em função destas recomendações as venezianas permanecerão fechadas durante todo o dia, entre os meses de outubro e março, e abertas das 8:00 às 17:00, durante os meses de abril à setembro.

Os *setpoints* de temperatura interna definidos para o controle por temperatura das venezianas externas foram simulados entre 23 e 27°C, sendo que o que apresentou os melhores resultados foi o de 24°C. Quanto ao controle por radiação solar foram simulados três *setpoints* diferentes: 120W/m<sup>2</sup>, que é o valor previamente definido pelo programa, 300 e 400 W/m<sup>2</sup>.

Os resultados obtidos para conforto térmico, através da aplicação do programa *AnalysysBio* (UFSC, ), e graus-hora estão indicados nas Figuras 12 e 13.

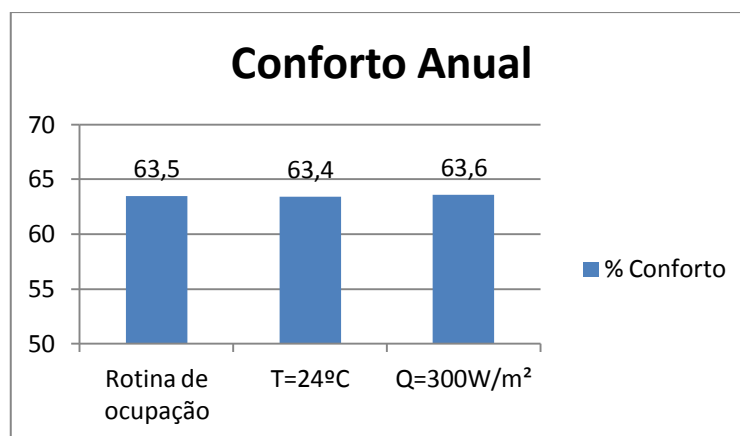


Figura 12 - Gráfico anual de conforto térmico para diferentes critérios de acionamento de venezianas

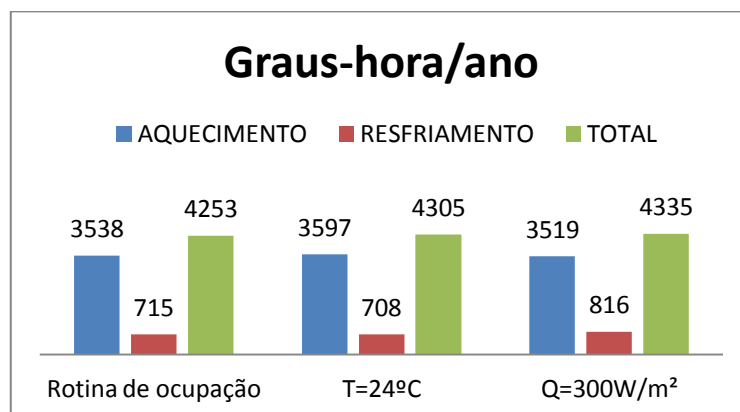


Figura 13 - Gráfico anual de graus-hora para diferentes critérios de acionamento de venezianas

Em função da proximidade dos valores obtidos, tanto de conforto térmico quanto de graus-hora, optou-se pela utilização da rotina programada apenas em função do horário, principalmente porque o processo de simulação se torna mais rápido, o que é fundamental pelo elevado número de simulações que serão executadas.

### 3.1.7. Orientação Solar

Foram definidas duas orientações principais para o caso-base, buscando-se com isso verificar a influência da orientação dos fechamentos transparentes da edificação. A primeira está sobre o eixo norte-sul, com as aberturas para leste e oeste. A segunda sobre o eixo leste-oeste, com as aberturas para norte e sul, conforme Figura 14.

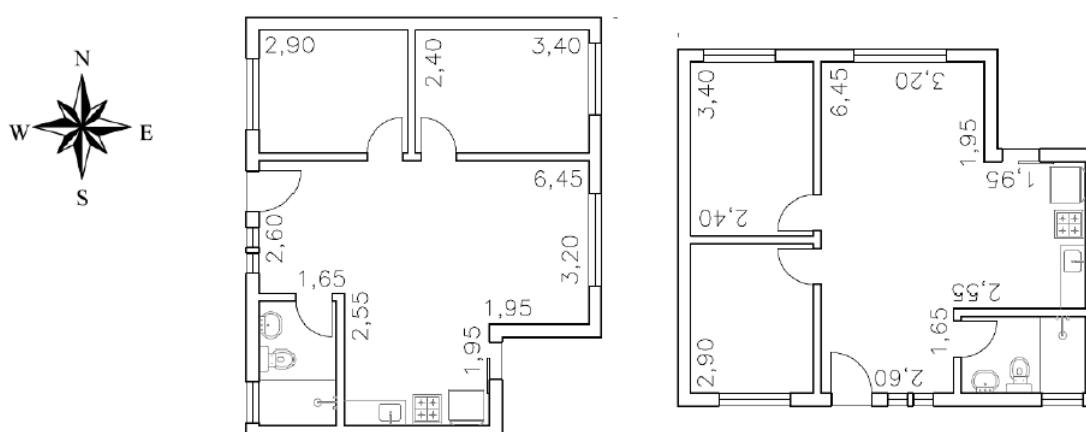


Figura 14 - Orientação solar dos modelos simulados

### 3.1.7.1. Influência da Orientação da Cobertura

A cobertura tem um papel essencial no desempenho térmico de edificações térreas. Isso porque ela é a superfície com maior exposição à radiação solar e, consequentemente, uma das principais responsáveis pelo ganho de calor da edificação (CASA EFICIENTE, 2010). Esta radiação, na cobertura, varia em função da orientação da mesma. Porém, segundo pesquisa feita por Grigoletti (2007) com alguns especialistas em conforto térmico, águas de diferentes orientações não apresentam diferenças significativas nas contribuições calculadas.

De qualquer forma como vamos, neste trabalho, inverter a orientação da edificação juntamente com a cobertura, fizemos um pequeno estudo inicial com o objetivo de verificar a influência da mudança de orientação apenas da cobertura, mantendo a edificação com a mesma orientação geográfica. Foram utilizados fechamentos verticais com absorvância solar de 0,7 e transmitância térmica de 1,00 e 5,00 W/m<sup>2</sup>K, para verificar a influência desta mudança de orientação na faixa de transmitância que iremos trabalhar. A cobertura modelada possui as características do caso-base, bem como todas as demais configurações da edificação seguem o mesmo padrão já definido anteriormente.

Este estudo preliminar, foi feito para a edificação orientada sobre o eixo norte-sul, com aberturas para leste e oeste. Os modelos simulados estão representados na Figura 15.

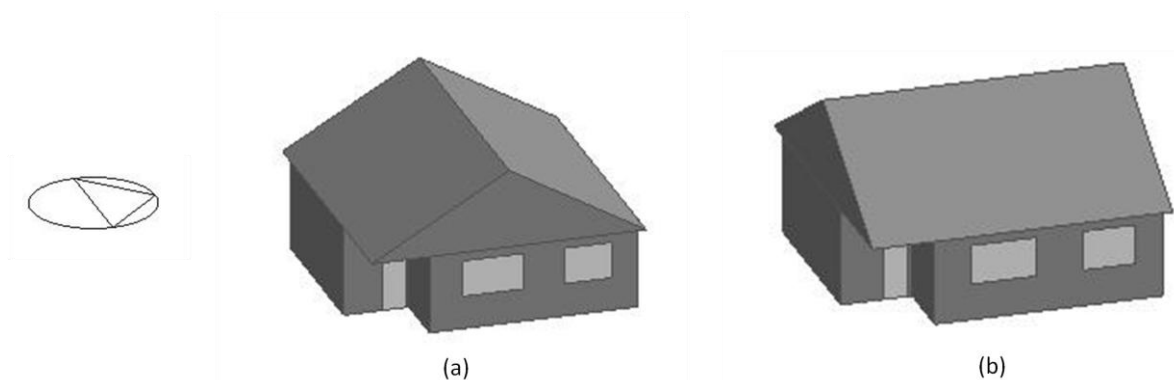


Figura 15 - Orientação solar das coberturas: (a) inclinação norte-sul; (b) inclinação leste-oeste

O modelo (a) tem sua cobertura com inclinação para norte-sul e o modelo (b) para leste-oeste. Os resultados obtidos no estudo, em relação ao conforto térmico no interior da edificação e no número de graus-hora, tanto de aquecimento quanto de resfriamento, estão indicados nas Tabelas 16 e 17.



Tabela 16 - Conforto térmico e graus-hora para  $U = 1,00\text{W/m}^2\text{K}$ 

		CONFORTO	GH TOTAL	GH RESFRI.	GH AQUEC.
BLOCO (a)	TOTAL	78,80%	1492	370	1122
	D. CASAL	82,80%	465	51	414
	D. FILHOS	83,60%	497	52	445
BLOCO (b)	TOTAL	79,60%	1425	346	1079
	D. CASAL	83,30%	472	52	420
	D. FILHOS	84,30%	484	52	432

Tabela 17 - Conforto térmico e graus-hora para  $U = 5,00\text{W/m}^2\text{K}$ 

		CONFORTO	GH TOTAL	GH RESFRI.	GH AQUEC.
BLOCO (a)	TOTAL	55,80%	6017	393	5624
	D. CASAL	44,30%	3424	29	3395
	D. FILHOS	47,00%	3419	34	3385
BLOCO (b)	TOTAL	56,10%	5983	378	5605
	D. CASAL	42,70%	3603	29	3574
	D. FILHOS	46,00%	3524	33	3491

Os resultados indicaram que, apesar de termos valores muito diferentes, tanto de conforto quanto de graus-hora, para as transmitâncias térmicas de  $1,00$  e  $5,00\text{ W/m}^2\text{K}$ , se formos analisar apenas a influência da mudança de orientação da cobertura os resultados estão relativamente próximos, nas duas configurações. Na configuração de transmitância térmica de  $1,00\text{ W/m}^2\text{K}$  a diferença, para a edificação como um todo, é de  $0,8\%$ . Para os dormitórios, na análise apenas do período noturno, entre 21 e 8 horas, a diferença é de  $0,5\%$  para o dormitório de casal, que tem janela para leste, e de  $0,7\%$  para o dormitório dos filhos, com janela para a orientação oeste. Na configuração de transmitância térmica de  $5,00\text{ W/m}^2\text{K}$  a diferença, para a edificação como um todo, é de  $0,3\%$ . Para os dormitórios, na análise apenas do período noturno, entre 21 e 8 horas, a diferença é de  $1,5\%$  para o dormitório de casal, que tem janela para leste, e de  $1\%$  para o dormitório dos filhos.

Estes dados são importantes para que, quando formos analisar a mudança de orientação solar da habitação como um todo, possamos levar em conta a influência que apenas a mudança de orientação da cobertura já produziu nos percentuais de conforto na edificação.

### 3.1.7.2. Influência da Orientação Solar no Conforto dos Dormitórios

Grigoletti (2007), a partir de análise das medições *in loco* de dois protótipos de habitações de interesse social, denominados de Aglotec e Alvorada, concluiu que não há diferenças significativas entre as temperaturas do ar nos diversos cômodos das habitações. Isto confirma os resultados dos trabalhos de Becker (1992) que indicaram que, para edificações de até 60 m<sup>2</sup> de área, a orientação dos cômodos não tem influência relevante sobre a temperatura do ar interno dos mesmos.

Por outro lado Grigoletti (2007) salientou a importância do aproveitamento da radiação solar de inverno através de aberturas voltadas para o norte, como uma estratégia para fazer frente às rápidas quedas de temperatura.

Como vamos modelar a habitação sobre dois eixos principais, norte-sul, com aberturas voltadas para leste-oeste e eixo leste-oeste, com aberturas voltadas para norte-sul, fizemos um pequeno estudo para verificar a influência da orientação solar das aberturas nos dormitórios, de forma a definir em qual deles será feita a análise de conforto térmico e graus-hora, durante o período noturno, para todo o trabalho.

O dormitório de casal, quando a edificação está sobre o eixo norte-sul, tem sua janela voltada para leste, além de ter outra parede exposta para o exterior voltada para norte. Nesta configuração o dormitório dos filhos tem sua janela para oeste, e sua outra parede exposta também para norte. Quando a edificação está sobre o eixo leste-oeste o dormitório de casal tem sua janela para norte e sua parede externa para oeste. Já o dormitório dos filhos tem sua abertura para sul e sua outra parede externa para oeste.

O estudo foi feito para fechamentos verticais de transmitância térmica 1,00 e 5,00 W/m<sup>2</sup>K, e para as absorvâncias de 0,2, 0,5 e 0,7. Com isso espera-se verificar o efeito da mudança de orientação das aberturas transparentes dos dormitórios, tanto para a edificação com transmitância térmica baixa, quanto para a edificação com paredes de transmitância alta.

Para a edificação modelada com paredes de transmitância baixa, os resultados estão indicados nas Tabelas 18 e 19.

Tabela 18 - Percentual de Conforto e Graus-hora (Edificação com aberturas para leste-oeste) -  $U = 1,00\text{W/m}^2\text{K}$ 

TRANSMITÂNCIA = $1\text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$								
		CONFORTO	DESCONFORTO			GH RESFRI.	GH AQUEC.	GH TOTAL
			TOTAL	FRIO	CALOR			
$\alpha = 20\%$	TOTAL	75,60%	24,40%	11,50%	12,90%	202	2036	2238
	D. CASAL	77,40%	22,60%	12,00%	10,70%	28	927	955
	D. FILHOS	78,00%	22,00%	12,00%	10,00%	27	925	952
$\alpha = 50\%$	TOTAL	77,80%	22,20%	9,47%	12,80%	342	1617	1959
	D. CASAL	81,20%	18,70%	9,27%	9,46%	52	685	737
	D. FILHOS	82,10%	17,90%	9,13%	8,75%	53	699	752
$\alpha = 70\%$	TOTAL	78,60%	21,40%	8,22%	13,10%	450	1402	1852
	D. CASAL	83,00%	17,00%	7,78%	9,18%	74	573	647
	D. FILHOS	83,10%	16,90%	7,99%	8,88%	77	593	670

Tabela 19 - Percentual de Conforto e Graus-hora (Edificação com aberturas para norte-sul) -  $U = 1,00\text{W/m}^2\text{K}$ 

TRANSMITÂNCIA = $1\text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$								
		CONFORTO	DESCONFORTO			GH RESFRI.	GH AQUEC.	GH TOTAL
			TOTAL	FRIO	CALOR			
$\alpha = 20\%$	TOTAL	77,10%	22,90%	9,90%	13,00%	180	1902	77,10%
	D. CASAL	79,60%	20,40%	10,20%	10,10%	27	745	79,60%
	D. FILHOS	75,90%	24,10%	13,20%	10,90%	21	1092	75,90%
$\alpha = 50\%$	TOTAL	78,90%	21,10%	8,10%	13,00%	300	1332	78,90%
	D. CASAL	82,80%	17,20%	8,00%	9,20%	54	577	82,80%
	D. FILHOS	80,10%	19,90%	10,50%	9,40%	40	815	80,10%
$\alpha = 70\%$	TOTAL	79,90%	20,10%	6,90%	13,20%	414	1163	79,90%
	D. CASAL	83,70%	16,30%	7,00%	9,30%	79	494	83,70%
	D. FILHOS	81,90%	18,10%	9,00%	9,10%	59	705	81,90%

Para a edificação modelada com paredes de transmitância térmica alta, de  $5,00\text{ W/m}^2\text{K}$ , os resultados estão indicados nas Tabelas 20 e 21.

Tabela 20 - Percentual de Conforto e Graus-hora (Edificação com aberturas para leste-oeste) -  $U = 5,00\text{W/m}^2\text{K}$ 

TRANSMITÂNCIA = $5\text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$								
		CONFORTO	DESCONFORTO			GH RESFRI.	GH AQUEC.	GH TOTAL
			TOTAL	FRIO	CALOR			
$\alpha = 20\%$	TOTAL	55,90%	44,10%	24,70%	19,40%	376	5845	6221
	D. CASAL	46,10%	53,90%	32,30%	21,60%	27	3617	3644
	D. FILHOS	47,80%	52,20%	31,80%	20,40%	29	3569	3598
$\alpha = 50\%$	TOTAL	62,60%	37,40%	18,70%	18,70%	1067	4277	5344
	D. CASAL	58,30%	41,70%	25,50%	16,20%	62	2760	2822
	D. FILHOS	58,90%	41,10%	25,30%	15,80%	65	2758	2823
$\alpha = 70\%$	TOTAL	64,90%	35,10%	15,70%	19,40%	1657	3593	5250
	D. CASAL	62,70%	37,30%	22,20%	15,10%	96	2343	2439
	D. FILHOS	64,00%	36,00%	22,10%	13,90%	102	2358	2460

Tabela 21- Percentual de Conforto e Graus-hora (Edificação com aberturas para norte-sul) -  $U = 5,00\text{W/m}^2\text{K}$ 

TRANSMITÂNCIA = $5\text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$								
		CONFORTO	DESCONFORTO			GH RESFRI.	GH AQUEC.	GH TOTAL
			TOTAL	FRIO	CALOR			
$\alpha = 20\%$	TOTAL	56,20%	43,80%	24,00%	19,80%	362	5535	5897
	D. CASAL	47,30%	52,70%	31,60%	21,10%	30	3441	3471
	D. FILHOS	46,20%	53,80%	33,00%	20,80%	23	3854	3877
$\alpha = 50\%$	TOTAL	62,90%	37,10%	18,00%	19,00%	1161	4074	5235
	D. CASAL	58,30%	41,70%	25,60%	16,10%	69	2711	2780
	D. FILHOS	56,80%	43,20%	27,40%	15,80%	56	3087	3143
$\alpha = 70\%$	TOTAL	65,20%	34,70%	15,10%	19,70%	1841	3381	5222
	D. CASAL	63,40%	36,60%	22,30%	14,30%	112	2334	2446
	D. FILHOS	61,20%	38,80%	24,40%	14,40%	91	2677	2768

Um resumo, apenas dos graus-hora dos dormitórios, em função da orientação solar de seus fechamentos transparentes e para as paredes modeladas com transmitância baixa e alta, respectivamente, estão indicados nas Figuras 16 e 17.

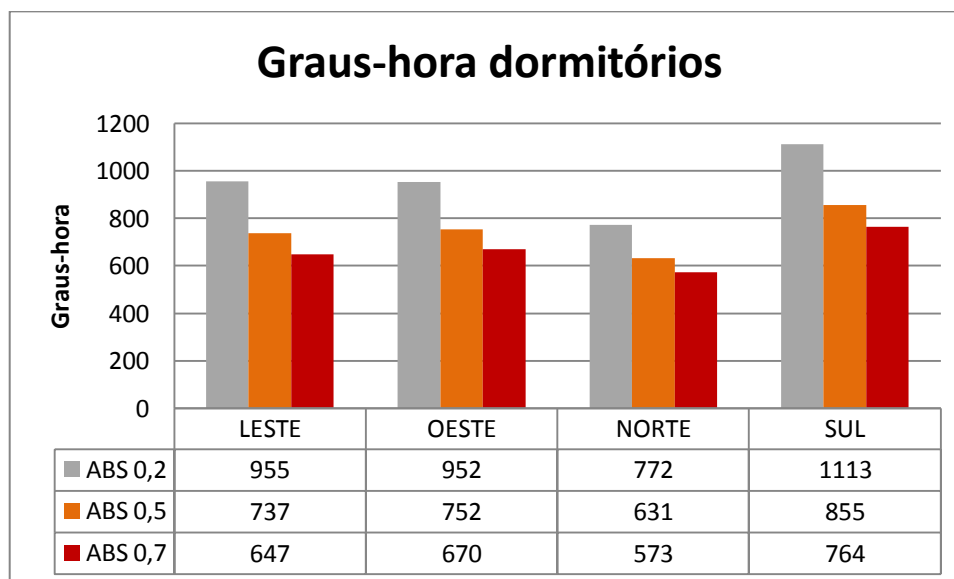


Figura 16 - Gráfico de graus-hora totais dos dormitórios em função de sua orientação solar ( $U=1,00\text{W/m}^2\text{K}$ )

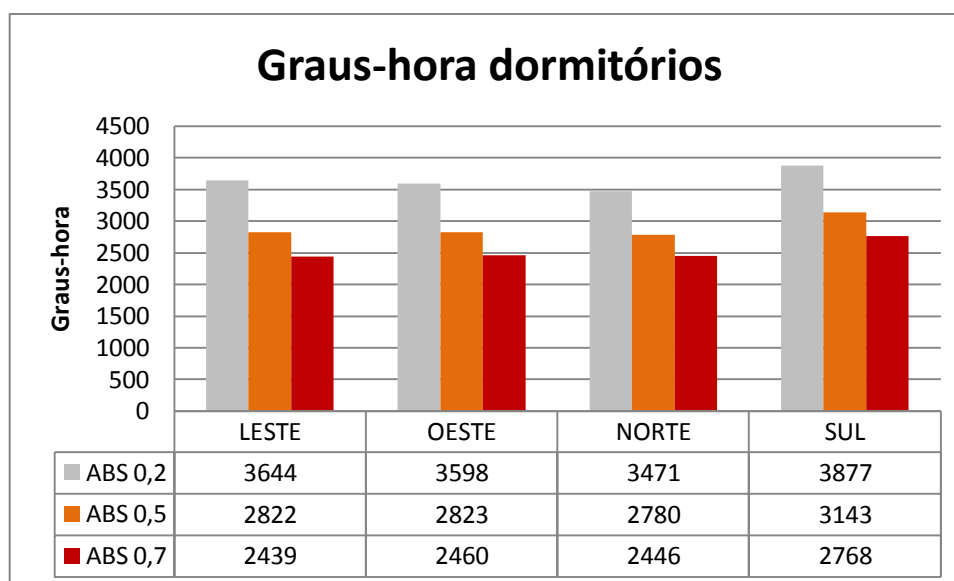


Figura 17 - Gráfico de graus-hora totais dos dormitórios em função de sua orientação solar ( $U=5,00\text{W/m}^2\text{K}$ )

Apesar da grande diferença de graus-hora para as duas configurações de paredes, em ambos os casos, pode-se perceber que o dormitório com abertura para o sul possui o maior número de graus-hora totais, para as três absortâncias simuladas, conforme podemos observar na figura 17. Já o dormitório com abertura para norte possui o menor número de graus-hora totais, também para as duas configurações.

Com os dormitórios com aberturas para leste ou oeste a diferença é muito pequena, em ambas configurações de fechamento vertical.

Com os resultados obtidos, que indicaram a pior condição do dormitório com abertura para sul, além das prescrições da NBR 15575, que recomendam, para a simulação computacional, que sejam analisados ambientes com janelas para o sul, no inverno, e para o oeste, no período de verão, definimos que o dormitório que terá seus resultados analisados, durante todo o trabalho, é o dormitório dos filhos, que atende esta condição estabelecida pela NBR 15575, e se mostrou o mais prejudicado em relação aos ganhos de radiação solar pela janela.

### 3.2. Modelagem e Simulação do Caso-Base

O processo de modelagem e simulação de uma edificação, no programa *DesignBuilder*, deve prever alguns cuidados. Após a definição das características arquitetônicas da edificação e dos principais parâmetros de entrada para utilização pelo programa de simulação computacional, ainda devemos definir o arquivo climático a ser utilizado na simulação e utilizar uma metodologia para construção dos fechamentos opacos.

#### 3.2.1. Arquivo Climático

Para o presente trabalho o arquivo climático utilizado será um arquivo representativo da Zona Bioclimática 2: arquivo TMY da cidade de Santa Maria/RS, mesma zona bioclimática da cidade de Pelotas/RS.

O arquivo climático TMY da cidade de Santa Maria/RS foi utilizado em função de não dispormos de um arquivo TRY para a zona bioclimática 2. A Figura 18 representa os dados de temperatura e umidade relativa do ar plotados sobre a carta bioclimática de Givoni, com a utilização do programa *AnalysisBio* (UFSC, 2008). O programa também nos indica o percentual de horas do ano em que as condições do clima local estão dentro dos limites de conforto. Naqueles períodos em que não temos conforto térmico no clima externo podemos observar as zonas definidas por Givoni em que os pontos definidos a partir da temperatura e umidade se encontram, estabelecendo as estratégias de condicionamento térmico passivo indicadas para melhorar as condições de conforto, se possível.

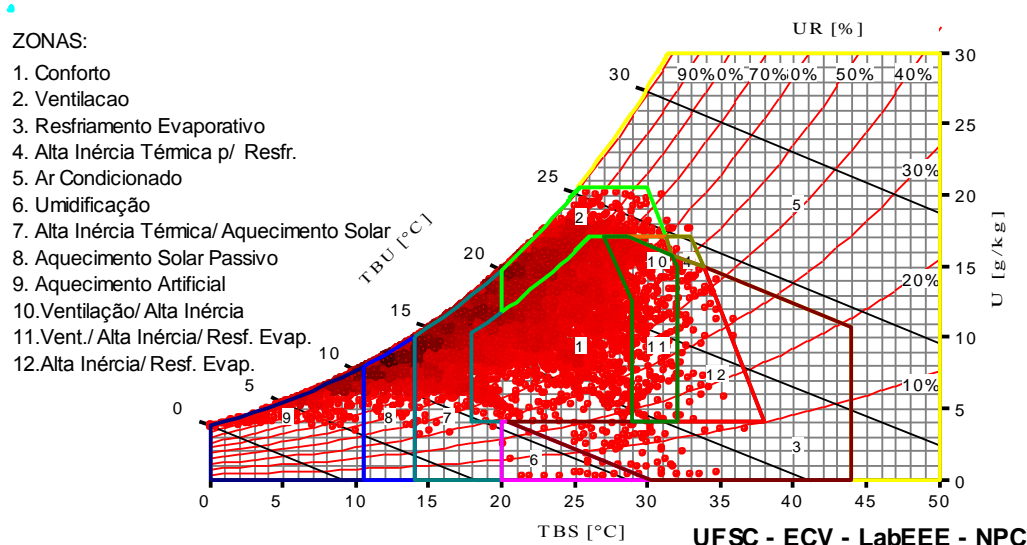


Figura 18 - Carta Bioclimática de Givoni para Santa Maria - RS (ZB2)

Os dados indicam um percentual de conforto térmico de 34% das horas. Dos 66% restantes, 21,40% são horas de desconforto por calor e 44,60% de desconforto por frio. As estratégias mais indicadas para o período de calor são a ventilação, com 20,20% do período de desconforto e alta inércia para resfriamento, com 5,51%. Em relação ao desconforto por frio a alta inércia térmica e aquecimento solar respondem por 25,50% e o aquecimento solar passivo por 11,60% das horas. Em 7,44% das horas, porém, somente as estratégias de condicionamento térmico passivo não são suficientes para proporcionar calor nas habitações e é necessária a utilização de aquecimento artificial.

Em relação aos graus-hora o arquivo climático indica que, em 400 horas, ou 4,57% do período, a temperatura está acima do limite de 29°C, com 741 graus-hora de desconforto por calor. Em relação ao desconforto por frio, com temperatura base de 18°C, temos 3.349 horas, ou 38,23% do período, abaixo da temperatura limite, com 15.767 graus-hora de desconforto.

### 3.2.2. Definição dos fechamentos opacos

A metodologia utilizada pelo programa *DesignBuilder* para elaborar os componentes construtivos apresenta certas limitações para desenvolver os modelos de materiais e componentes. O programa considera todos os componentes formados por camadas transversais ao fluxo de calor, não permitindo o cálculo de resistências térmicas em paralelo. Desta forma foi utilizado o trabalho de Ordenes et al (2003) que desenvolveu um modelo de

construção de um componente equivalente para ser inserido no programa. Neste modelo as espessuras e densidades de massa aparente dos materiais são modificadas, mantendo-se constante a resistência térmica ( $R_t$ ) e capacidade térmica ( $C_t$ ) entre as superfícies do componente, conforme Figura 19.

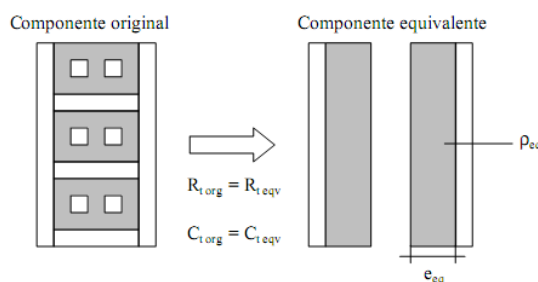


Figura 19 - Componente equivalente

Fonte: Ordenes et al (2003)

A metodologia proposta por Ordenes et al (2003) teve que ser adaptada em função de que, no caso-base, não temos a capacidade térmica definida, e sim o atraso térmico.

A definição dos fechamentos do caso-base seguiu as indicações da norma para a zona bioclimática 2, em relação as características térmicas limites das vedações externas, conforme tabela C.2. da NBR 15220, parte 3 (ABNT, 2005).

As paredes do caso-base são de tijolo maciço cerâmico, com reboco de 2,5cm em ambas as faces. Para a cobertura serão utilizadas telhas de fibrocimento de 6mm, câmara de ar e laje de concreto. As propriedades térmicas dos materiais utilizados nos componentes não equivalentes são as referenciadas na NBR 15220 – 3 (ABNT, 2005).

### 3.2.2.1. Cálculo do fechamento vertical equivalente

O cálculo do fechamento vertical equivalente pode ser descrito e exemplificado numa sequência bastante simples. A partir da transmitância recomendada pela NBR 15220-3, calcula-se a resistência total. Descontando-se desta as resistências superficiais interna e externa obtém-se a resistência total do material. A partir deste valor, especificando-se os materiais e suas condutividades, calcula-se a espessura equivalente.

Cálculo da espessura equivalente

$$U = 3,00 \text{ W/m}^2\text{K}$$



$$R_T = 1/U = 0,333$$

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se}$$

$$R_t = 0,333 - 0,13 - 0,04$$

$$R_t = 0,163 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_t = R_{reb} + R_{cer} + R_{reb}$$

$$0,163 = \frac{2 \times 0,025}{1,15} + \frac{eeq}{0,9}$$

$$e_{eq} = 0,1076\text{m} = 10,76\text{cm}$$

Cálculo da capacidade térmica da parede

O cálculo da capacidade térmica da parede para definição da densidade equivalente segue o mesmo princípio lógico, tendo-se como ponto de partida a resistência térmica do material.

$$R_t = 0,163$$

$$B_0 = C_T - C_{T_{ext}} = C_T - 0,025 \cdot 1 \cdot 2000 = C_T - 50$$

$$B_1 = \frac{(CT-50)}{R_t} \cdot 0,226 = 1,3865 C_T - 69,325$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{ext}}{R_t} \right) \cdot \left( R_{ext} - \frac{R_t - R_{ext}}{10} \right)$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{1,15 \cdot 2000 \cdot 1}{0,163} \right) \cdot \left( (0,025 / 1,15) - \frac{0,163 - (0,025 / 1,15)}{10} \right) = 22,01$$

$$\phi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2}$$

$$4,3 = 1,382 \cdot 0,163 \cdot \sqrt{1,3865 (CT - 50) + 22,013}$$

$$C_T = 296,84 \text{ KJ/m}^2\text{K}$$

Cálculo da densidade de massa aparente

Com a capacidade térmica calculada obtém-se a densidade equivalente dos materiais, tendo como princípio suas espessuras e seus valores de calor específico.

$$C_T = 2 \cdot (e.c.p)_{arg} + (e.c.p)_{eq}$$

$$296,84 = 2 \cdot (0,025 \cdot 1 \cdot 2000) + 0,1076 \cdot 0,92 \cdot \rho_{eq}$$

$$\rho_{eq} = 1988,44 \text{ Kg/m}^3$$

Cálculo da absorptância solar

$$FCS \leq 5,0 \%$$

$$FS = 100 \cdot U \cdot \alpha \cdot R_{ss}$$

$$5 = 100 \cdot 3 \cdot \alpha \cdot 0,04$$

$$\alpha = 0,417$$

### 3.2.2.2. Cálculo da espessura equivalente do fechamento horizontal

O cálculo do fechamento horizontal equivalente segue exatamente a mesma sequência apresentada para o cálculo do fechamento vertical equivalente.

Cálculo da espessura equivalente

$$U = 2,00 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$R_T = 1/U = 0,5$$

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se}$$

$$R_t = 0,5 - 0,17 - 0,04$$

$$R_t = 0,29 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_t = R_{fib} + R_{ar} + R_{conc}$$

$$0,29 = \frac{0,006}{0,95} + 0,21 + \frac{eeq}{1,75}$$

$$e_{eq} = 0,129\text{m} = 12,9\text{cm}$$

Cálculo da capacidade térmica da cobertura

$$R_t = 0,29$$

$$B_0 = C_T - C_{Text} = C_T - 0,006 \cdot 0,84 \cdot 1900 = C_T - 9,576$$

$$B_1 = \frac{(CT-9,576)}{0,29} \cdot 0,226 = 0,779 C_T - 7,463$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{(\lambda \cdot \rho \cdot C)_{\text{ext}}}{R_t} \right) \cdot \left( R_{\text{ext}} - \frac{R_t - R_{\text{ext}}}{10} \right)$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{0,95 \cdot 1900 \cdot 0,84}{0,29} \right) \cdot \left( (0,006 / 0,95) - \frac{0,29 - (0,006 \cdot 0,95)}{10} \right) = -23,26$$

(desconsiderar)

$$\phi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2}$$

$$6,5 = 1,382 \cdot 0,29 \cdot \sqrt{0,779 C_T - 7,463}$$

$$C_T = 347,24 \text{ KJ/m}^2\text{K}$$

Cálculo da densidade de massa aparente

$$C_T = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{fib}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{eq}}$$

$$347,24 = (0,006 \cdot 0,84 \cdot 1900) + 0,129 \cdot 1 \cdot \rho_{\text{eq}}$$

$$\rho_{\text{eq}} = 2617,55 \text{ Kg/m}^3$$

Cálculo da absorptância solar

$$FCS \leq 6,5 \%$$

$$FS = 100 \cdot U \cdot \alpha \cdot R_{\text{se}}$$

$$6,5 = 100 \cdot 2 \cdot \alpha \cdot 0,04$$

$$\alpha = 0,813$$

Os valores de espessura e densidade de massa equivalentes, assim como a absorptância solar limite para a observância do valor do fator de calor solar, estão representados nas Figuras 20 e 21, para que os fechamentos respeitem exatamente os limites indicados pela NBR 15220 – 3, para a zona bioclimática 2.

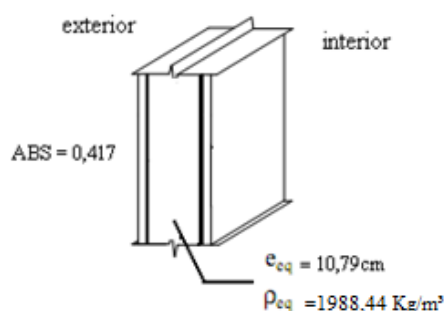


Figura 20 - Parede equivalente ZB2

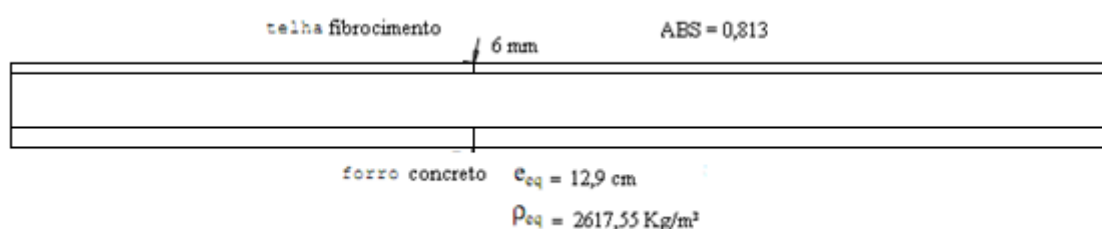


Figura 21 - Cobertura equivalente ZB 2

### 3.2.3. Definição das zonas térmicas

A edificação possui dois blocos, o térreo e a cobertura, representados nas Figuras 22 e 23. As paredes internas foram modeladas até a cobertura, de forma que cada zona térmica seja independente. Isto foi necessário porque, nas simulações que irão alterar a transmitância da cobertura, não seria possível, se tivéssemos uma câmara de ar entre o forro e a cobertura, configurarmos transmitâncias maiores que  $2,0 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , em função da resistência da câmara de ar. E, neste caso, as comparações não poderiam ser feitas de forma adequada.

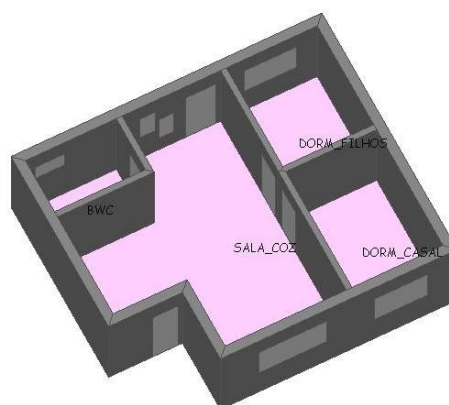


Figura 22 - Bloco térreo

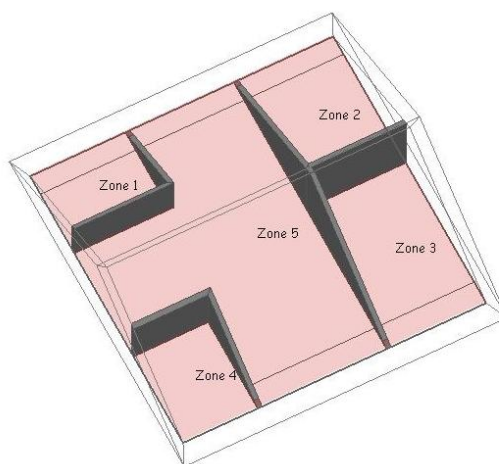


Figura 23 - Bloco da cobertura

Foram definidas quatro zonas térmicas para a habitação, que estão representadas na Figura 24.

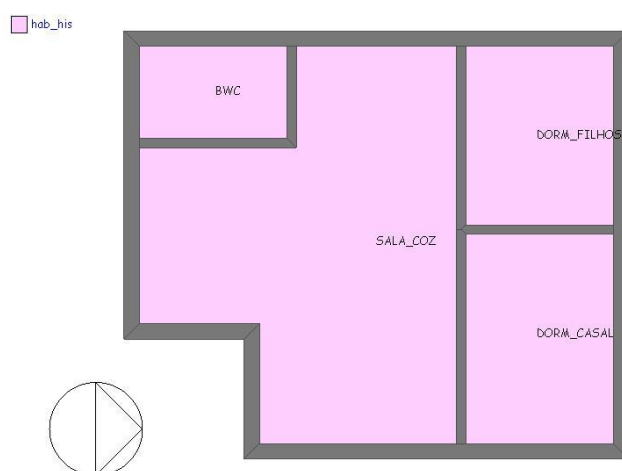


Figura 24 - Zonas térmicas

Mesmo que as paredes estejam modeladas desde o piso até a cobertura, como temos dois blocos independentes, um para o térreo e outro para a cobertura, conforme demonstra a Figura 25, o programa permite a análise dos resultados apenas para o térreo. Isto será feito para evitar a interferência indesejada da temperatura do bloco da cobertura, visto que o mesmo não é ocupado, e somente foi modelado desta forma em função das alterações que serão feitas nas transmitâncias da cobertura.

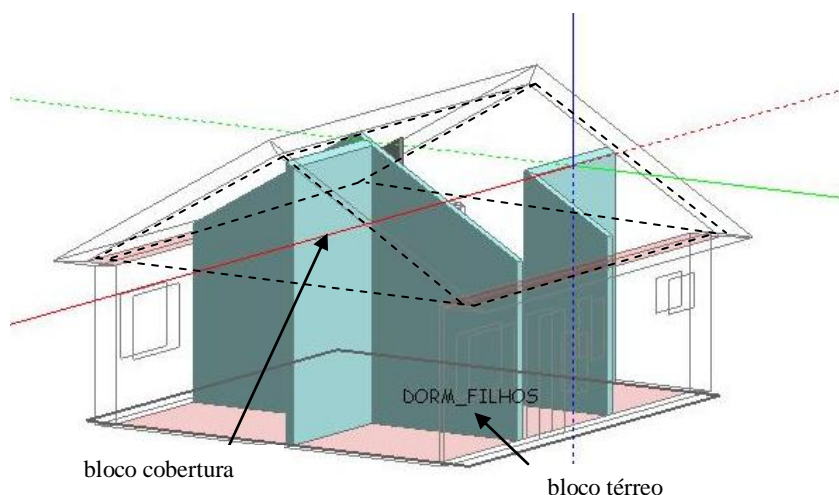


Figura 25 - Representação das zonas térmicas do bloco térreo e do bloco de cobertura

### 3.3. Modelagem e Simulação das novas configurações de fechamentos opacos

Para a definição das alternativas a serem analisadas a partir do processo de simulação computacional, de forma a atender aos objetivos do trabalho, serão fixados valores de transmitância térmica que abranjam a maioria dos valores de transmitância das paredes e coberturas listadas na NBR 15220-3 (de  $1,00\text{W/m}^2\text{K}$  a  $5,00\text{W/m}^2\text{K}$ ) e, a partir daí, serão testados fechamentos com atrasos térmicos de 1 a 11 horas, que também estão contidos na norma.

Em relação ao fator de calor solar, todas as configurações serão testadas para as absorptâncias de 20%, 50% e 70% (Lamberts et al, 2004).

As alternativas de configuração de paredes e coberturas, inicialmente propostas, estão representadas na Tabela 22.

Tabela 22 - Configurações de Simulação


	$\phi$ (hs)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	U (W/m <sup>2</sup> K)											
PAREDES	1	C1	C6	C11	C16	C21	C26	C31	C36	C41	C46	C51
	2	C2	C7	C12	C17	C22	C27	C32	C37	C42	C47	C52
	3	C3	C8	C13	C18	C23	C28	C33	C38	C43	C48	C53
	4	C4	C9	C14	C19	C24	C29	C34	C39	C44	C49	C54
	5	C5	C10	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55
COBERTURAS	$\phi$ (hs)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	U (W/m <sup>2</sup> K)											
	1	C1	C6	C11	C16	C21	C26	C31	C36	C41	C46	C51
	2	C2	C7	C12	C17	C22	C27	C32	C37	C42	C47	C52
	3	C3	C8	C13	C18	C23	C28	C33	C38	C43	C48	C53
	4	C4	C9	C14	C19	C24	C29	C34	C39	C44	C49	C54
	5	C5	C10	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55

Muitos destes valores são apenas teóricos, pois observando os valores de fechamentos verticais que constam na NBR 15220-3, paredes de transmitância baixa, de 1,00 e 2,00 W/m<sup>2</sup>K, possuem atraso térmico acima de 5 horas e, nas paredes de transmitância alta, de 4,00 e 5,00 W/m<sup>2</sup>K, o atraso térmico não ultrapassa 3 horas. A Tabela 23 indica as configurações de fechamentos verticais simulados que possuem representação na NBR 15220-3.

Para as características térmicas das coberturas, as combinações de transmitância e atraso térmico que constam na NBR 15220-3 também estão representadas na Tabela 23.

Tabela 23 - Configurações simuladas que compõe a NBR 15220-3

	$\phi$ (hs)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	U (W/m <sup>2</sup> K)											
PAREDES	1	C1	C6	C11	C16	C21	C26	C31	C36	C41	C46	C51
	2	C2	C7	C12	C17	C22	C27	C32	C37	C42	C47	C52
	3	C3	C8	C13	C18	C23	C28	C33	C38	C43	C48	C53
	4	C4	C9	C14	C19	C24	C29	C34	C39	C44	C49	C54
	5	C5	C10	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55
COBERTURAS	$\phi$ (hs)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	U (W/m <sup>2</sup> K)											
	1	C1	C6	C11	C16	C21	C26	C31	C36	C41	C46	C51
	2	C2	C7	C12	C17	C22	C27	C32	C37	C42	C47	C52
	3	C3	C8	C13	C18	C23	C28	C33	C38	C43	C48	C53
	4	C4	C9	C14	C19	C24	C29	C34	C39	C44	C49	C54
	5	C5	C10	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55

 configurações de fechamentos que possuem representação na NBR 15220-3

### 3.3.1. Limitações para inserção de dados no programa de simulação

O programa de simulação termoenergética *DesignBuilder* limita alguns valores para entrada de dados, o que nos levou a modificação da característica de alguns materiais dos fechamentos. A espessura máxima admitida pelo programa para cada *layer* do fechamento é de 0,5m. Para paredes de massa única e transmitância de 1,00 W/m<sup>2</sup>K tivemos que trocar o material cerâmico pelo gesso, para que este valor pudesse ser observado.

A densidade de massa específica máxima admitida pelo programa é de 12.000 Kg/m<sup>3</sup>. Porém a densidade de massa aparente máxima dos materiais que constam na NBR 15220-2, com exceção dos metais, é de 3.000 Kg/m<sup>3</sup>, para o basalto. Ordenes et al (2003) em seu trabalho, trabalhou com densidade equivalente máxima de 3.836 Kg/m<sup>3</sup> para paredes de material cerâmico (tijolos furados). Em função disso limitaremos a densidade equivalente máxima a este valor, para não fugirmos destes limites já testados.



Com este limite estabelecido, as paredes de transmitância térmica de 3,00, 4,00 e 5,00 W/m<sup>2</sup>K tiveram seus atrasos térmicos limitados em 6 (seis), 4 (oito) e 1 (uma) hora, respectivamente. Para a cobertura esta limitação resultou em um atraso térmico máximo de 6 (seis) horas para a transmitância térmica de 4,00 W/m<sup>2</sup>K, e de 3 (três) horas para transmitância térmica de 5,00 W/m<sup>2</sup>K. As configurações de simulação que serão analisadas neste trabalho estão indicadas na Tabela 24.

Tabela 24 - Configurações de simulação analisadas

	$\phi$ (hs)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	U (W/m <sup>2</sup> K)											
PAREDES	1	C1	C6	C11	C16	C21	C26	C31	C36	C41	C46	C51
	2	C2	C7	C12	C17	C22	C27	C32	C37	C42	C47	C52
	3	C3	C8	C13	C18	C23	C28	C33	C38	C43	C48	C53
	4	C4	C9	C14	C19	C24	C29	C34	C39	C44	C49	C54
	5	C5	C10	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55
COBERTURAS	$\phi$ (hs)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	U (W/m <sup>2</sup> K)											
	1	C1	C6	C11	C16	C21	C26	C31	C36	C41	C46	C51
	2	C2	C7	C12	C17	C22	C27	C32	C37	C42	C47	C52
	3	C3	C8	C13	C18	C23	C28	C33	C38	C43	C48	C53
	4	C4	C9	C14	C19	C24	C29	C34	C39	C44	C49	C54
	5	C5	C10	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55

### 3.3.2. Limitações pela utilização da metodologia de espessura equivalente dos fechamentos

A utilização da metodologia proposta por Ordenes et al (2003), adaptada para utilização neste trabalho, proporciona algumas limitações nos fechamentos verticais de baixa transmitância, de 1,00 e 2,00 W/m<sup>2</sup>K e atrasos térmicos abaixo de, respectivamente, 5 e 3 horas. Esta limitação se dá apenas quando se busca utilizar a metodologia com câmara de ar para as paredes equivalentes.

Em função disso fez-se um pequeno estudo para comparar os resultados obtidos, tanto de conforto térmico quanto de graus-hora, com a utilização da metodologia com e sem câmara de ar nos fechamentos, naqueles valores de atraso térmico onde é possível se utilizar a metodologia das duas formas.

Este foi um recurso utilizado em função da limitação encontrada pois, na NBR 15220-3 (ABNT, 2005), todos os fechamentos verticais com transmitância abaixo de  $2,00 \text{ W/m}^2\text{K}$  utilizam tijolos e blocos furados, e a opção inicial neste trabalho seria utilizar a metodologia com esta opção.

### 3.3.2.1. Características dos fechamentos verticais equivalentes

As Tabelas 25 e 26 nos indicam as características das paredes equivalentes de transmitância térmica de  $1,00$  e  $2,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ , modeladas com ou sem câmara de ar.

Tabela 25 - Configuração das paredes equivalentes de  $U = 1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$






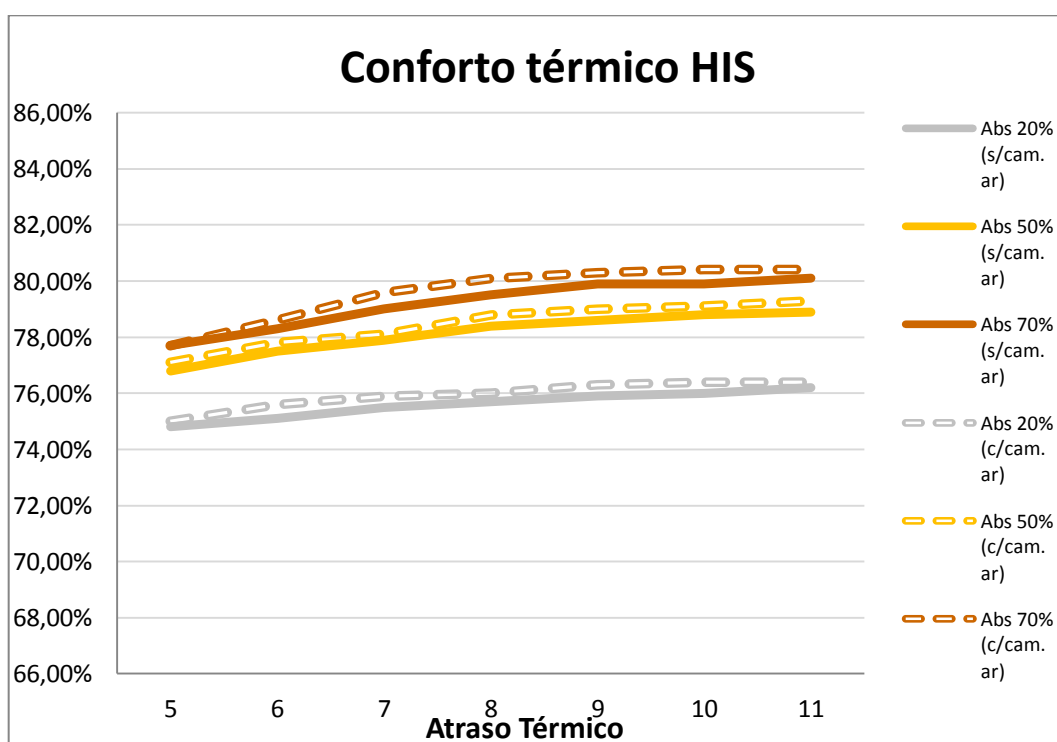
			5	6	7	8	9	10	11
	$e_{eq} \text{ (m)}$		0,415	0,415	0,415	0,415	0,415	0,415	0,415
	$CT \text{ (KJ/m}^2\text{K)}$		56,770	81,749	111,270	145,332	183,936	227,082	274,769
	$\rho \text{ (Kg/m}^3\text{)}$		162,8526	234,5077	319,1911	416,9026	527,6424	651,4103	788,2065
	$e_{eq} \text{ (m)}$		$2 \times 0,282$	$2 \times 0,282$	$2 \times 0,282$	$2 \times 0,282$	$2 \times 0,282$	$2 \times 0,282$	$2 \times 0,282$
	$CT \text{ (KJ/m}^2\text{K)}$		119,781	150,485	186,771	228,639	276,091	329,124	387,740
	$\rho \text{ (Kg/m}^3\text{)}$		38,13138	97,318	167,2658	247,9749	339,4451	441,6766	554,6692

Tabela 26 - Configurações das paredes equivalentes de  $U = 2,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ 

		3	4	5	6	7	8	9	10	11
	$e_{eq} \text{ (m)}$	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297
	$CT \text{ (KJ/m}^2\text{K)}$	51,40303	91,38316	142,786	205,612	279,861	365,533	462,627	571,145	691,085
	$\rho \text{ (Kg/m}^3\text{)}$	188,1241	334,4428	522,5669	752,4964	1024,231	1337,771	1693,117	2090,268	2529,224
	$e_{eq} \text{ (m)}$	$2 \times 0,057$	$2 \times 0,057$	$2 \times 0,057$	$2 \times 0,057$	$2 \times 0,057$	$2 \times 0,057$	$2 \times 0,057$	$2 \times 0,057$	$2 \times 0,057$
	$CT \text{ (KJ/m}^2\text{K)}$	113,1836	162,3263	225,510	302,734	393,999	499,305	618,652	752,039	899,468
	$\rho \text{ (Kg/m}^3\text{)}$	125,8453	594,9438	1198,071	1935,225	2806,408	3811,62	4950,859	6224,126	7631,422

Os resultados obtidos nas simulações, mantidas todas as configurações da habitação descritas na metodologia, para a transmitância térmica da parede de  $1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ , modeladas com ou sem câmara de ar, estão indicados nas Figuras 26, 27 e 28.

Figura 26 - Conforto térmico anual (paredes com  $U = 1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ )

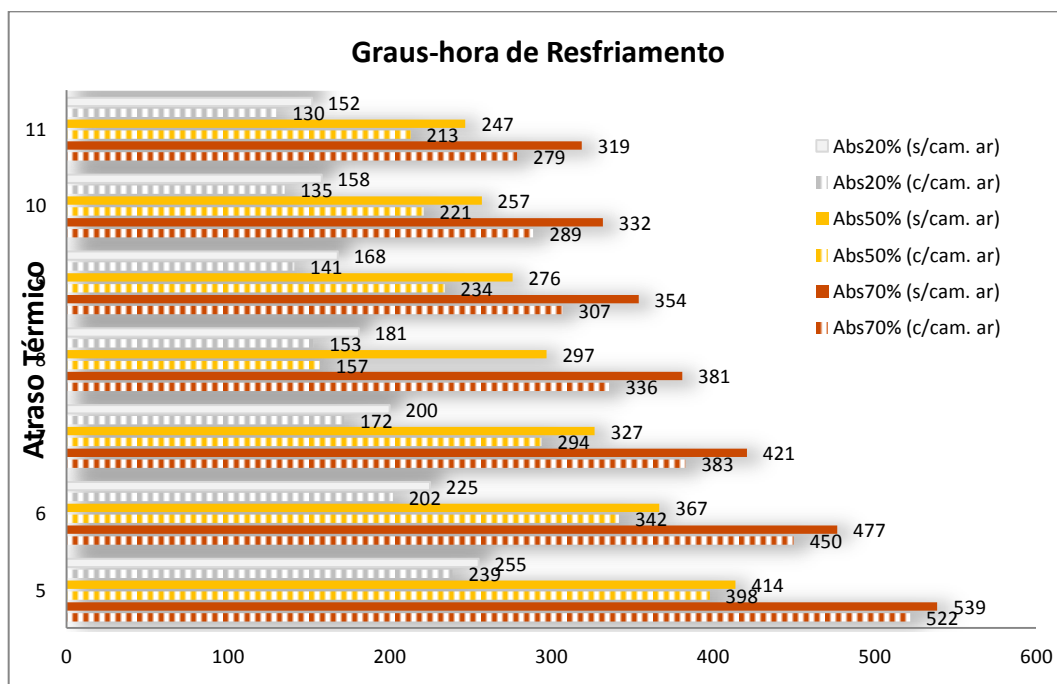


Figura 27 - Graus-hora de resfriamento (paredes de  $U = 1,00\text{W/m}^2\text{K}$ )

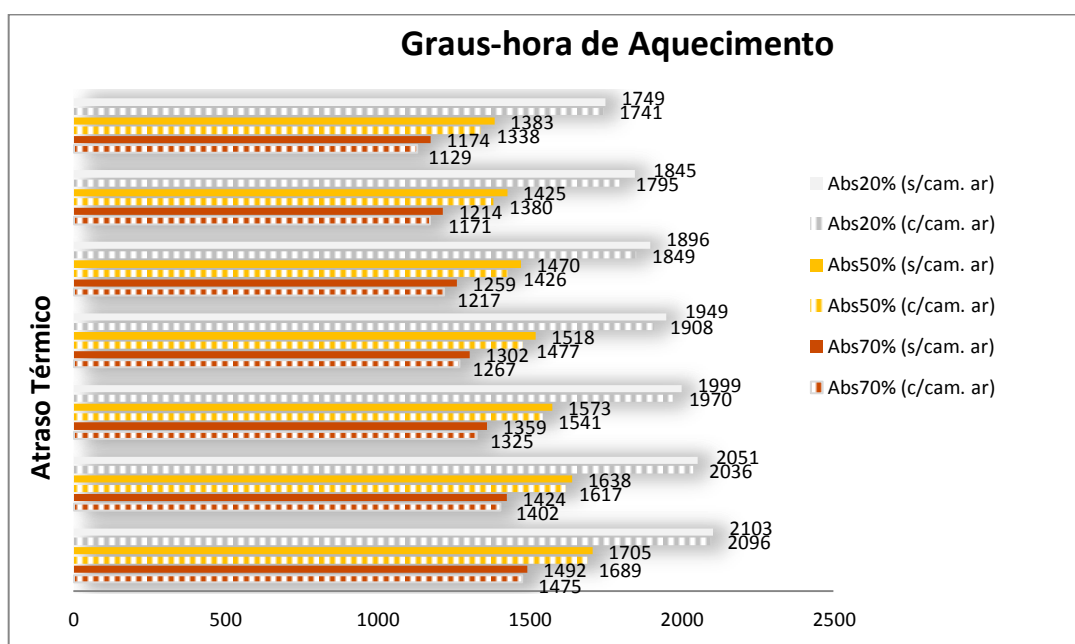


Figura 28 - Graus-hora de aquecimento (paredes de  $U = 1,00\text{W/m}^2\text{K}$ )

Para os fechamentos verticais de transmitância térmica de  $2,00\text{ W/m}^2\text{K}$ , modelados com ou sem câmara de ar, os resultados estão indicados nas Figuras 29, 30 e 31.

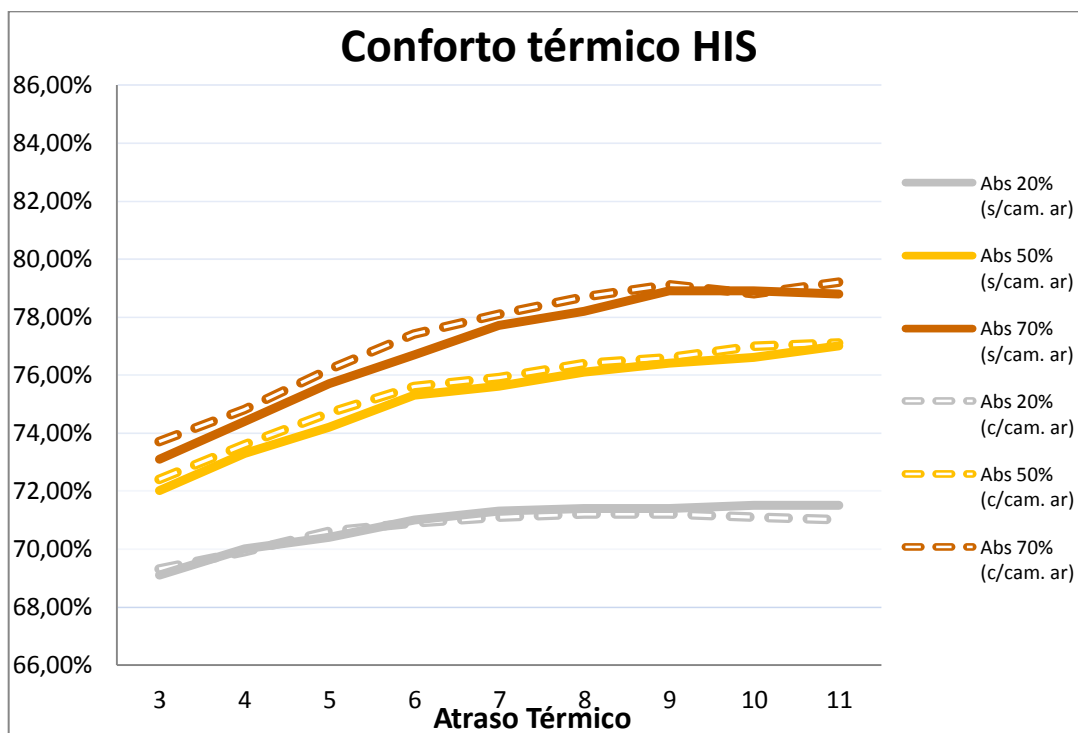


Figura 29 - Conforto térmico anual (paredes com  $U = 2,00\text{W/m}^2\text{K}$ )

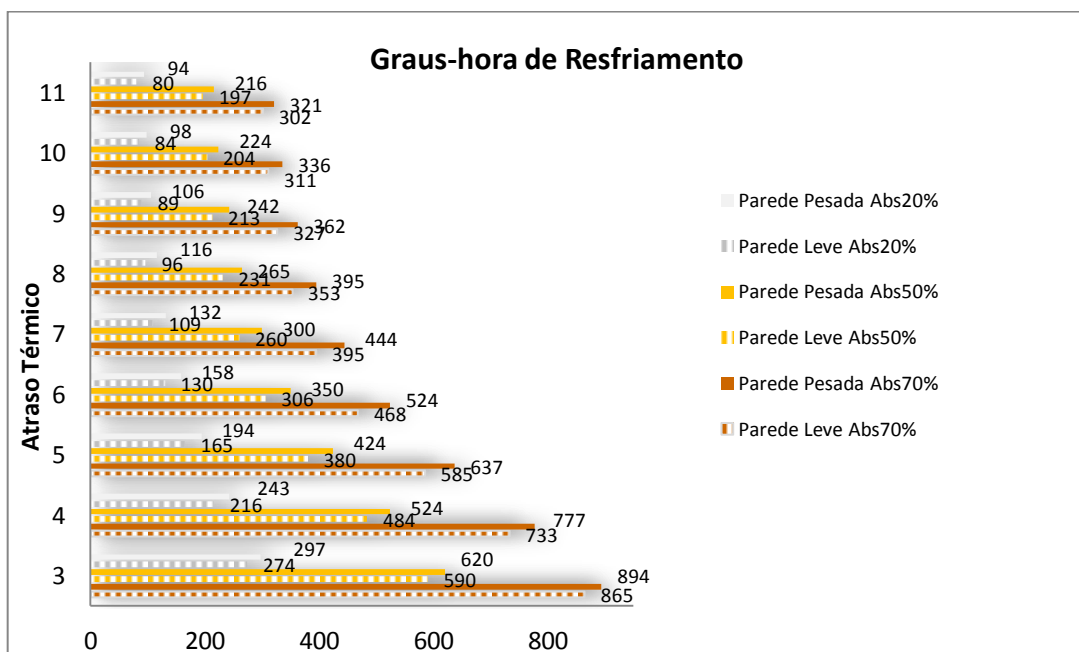


Figura 30 - Graus-hora de resfriamento (paredes de  $U = 2,00\text{W/m}^2\text{K}$ )

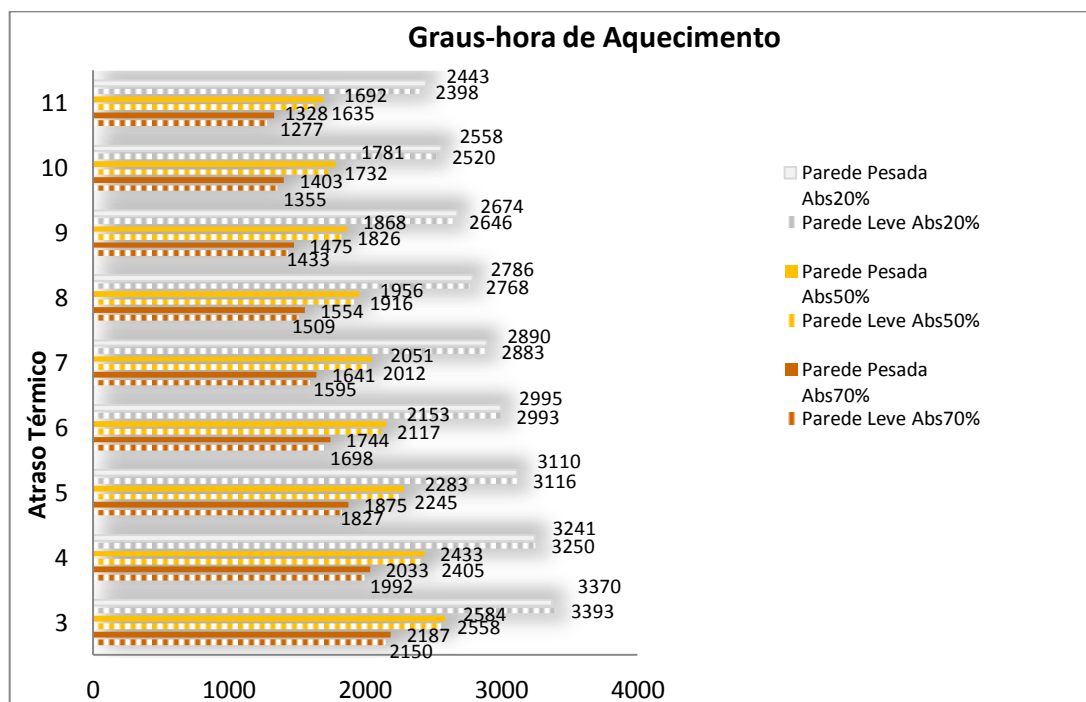


Figura 31 - Graus-hora de aquecimento (paredes de  $U = 2,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ )

Os resultados obtidos indicaram valores muito próximos, tanto de conforto quanto de graus-hora de aquecimento ou resfriamento, independente da modelagem das paredes com ou sem câmara de ar. Neste trabalho as paredes serão modeladas com câmara de ar, para os valores de atraso térmico que não tem limitações pela utilização da metodologia de Ordenes et al (2003). Nas paredes de transmitância térmica de  $1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$  e atraso térmico até 4 horas, e de transmitância térmica de  $2,00 \text{ W/m}^2\text{K}$  e atraso de uma ou duas horas, o sistema de modelagem utilizado será o de parede com massa única, sem câmara de ar, para fugir da limitação imposta pela utilização da metodologia de Ordenes et al(2003).

### 3.3.3. Características físicas e térmicas dos fechamentos opacos equivalentes

As características físicas e térmicas dos fechamentos opacos, tanto verticais quanto horizontais, calculados pela metodologia equivalente de Ordenes et al (2003) estão indicados nos Apêndices B, C, D e E.

## 4. Análise dos Resultados

Este capítulo apresenta, em primeiro lugar, os resultados referentes ao caso base. Os resultados obtidos serão analisados de duas formas. A primeira é através de uma análise comparativa dos desempenhos de cada modelo com base na porcentagem de horas de conforto, considerando a zona de conforto adaptada de Givoni (1992). Para isso foi utilizado o programa computacional *Analysis Bio*, inserindo os valores horários de temperatura e umidade relativa do ar obtida em cada modelo simulado, para o ano inteiro. Os resultados serão analisados para toda a edificação, nas 24 horas do dia, e para o dormitório dos filhos, no período noturno, das 21 às 8 horas, quando este ambiente está ocupado.

A segunda forma de análise é através do número de graus-hora total, de resfriamento e aquecimento, nos mesmos padrões anteriores. Esta análise será utilizada como um indicador energético que possibilite a quantificação da energia requerida para que as temperaturas da zona de conforto sejam restabelecidas nos ambientes analisados, indicando a eficiência energética das alternativas simuladas.

As temperaturas-base para aquecimento e resfriamento serão de 18 e 29°C, isto é, as temperaturas da zona de conforto de Givoni para países em desenvolvimento, que deram sustentação para a elaboração das recomendações e estratégias da NBR 15220 - parte 3.

Algumas configurações de fechamentos opacos verticais e horizontais, com os valores extremos de transmitância solar simulados, terão os seus fluxos de calor pelos fechamentos opacos analisados, bem como as temperaturas internas no dormitório dos filhos, para os dias de temperatura externa máxima e mínima, que ocorrem, respectivamente, nos dias 26 de janeiro e 27 de junho no arquivo TMY de Santa Maria.

Após a avaliação do caso base, inicia-se a apresentação dos resultados das alternativas simuladas, tanto com a mudança da configuração dos fechamentos verticais quanto horizontais.

#### 4.1. Resultados do Caso-base

Os resultados obtidos para o caso-base, que possuem os fechamentos opacos modelados com os valores limites das propriedades térmicas referidos na NBR 15220-3 (ABNT, 2005), tanto para a edificação como um todo, quanto para os dormitórios, nas duas orientações em que a habitação foi simulada, estão indicados nas Tabelas 27 e 28.

Tabela 27 - Conforto e graus-hora do caso-base (aberturas leste-oeste)

		CONFORTO	DESCONFORTO			GH TOTAL	GH AQUEC.	GH RESFRI.
			TOTAL	FRIO	CALOR			
$\alpha = 41,8\%$	TOTAL	71,70%	28,30%	14,60%	13,70%	3160	2867	293
	D. CASAL	74,30%	25,70%	14,80%	10,90%	1292	1239	53
	D. FILHOS	75,00%	25,00%	14,60%	10,40%	1292	1237	55

Tabela 28 - Conforto e graus-hora do caso-base (aberturas norte-sul)

		CONFORTO	DESCONFORTO			GH TOTAL	GH AQUEC.	GH RESFRI.
			TOTAL	FRIO	CALOR			
$\alpha = 41,8\%$	TOTAL	72,40%	27,60%	13,70%	13,90%	2890	2619	271
	D. CASAL	75,30%	24,70%	10,40%	14,30%	1255	1197	58
	D. FILHOS	72,10%	27,90%	17,10%	10,80%	1636	1594	42

A comparação entre os resultados de conforto térmico no interior da edificação, obtidos para as duas orientações, estão indicados na Figura 32.



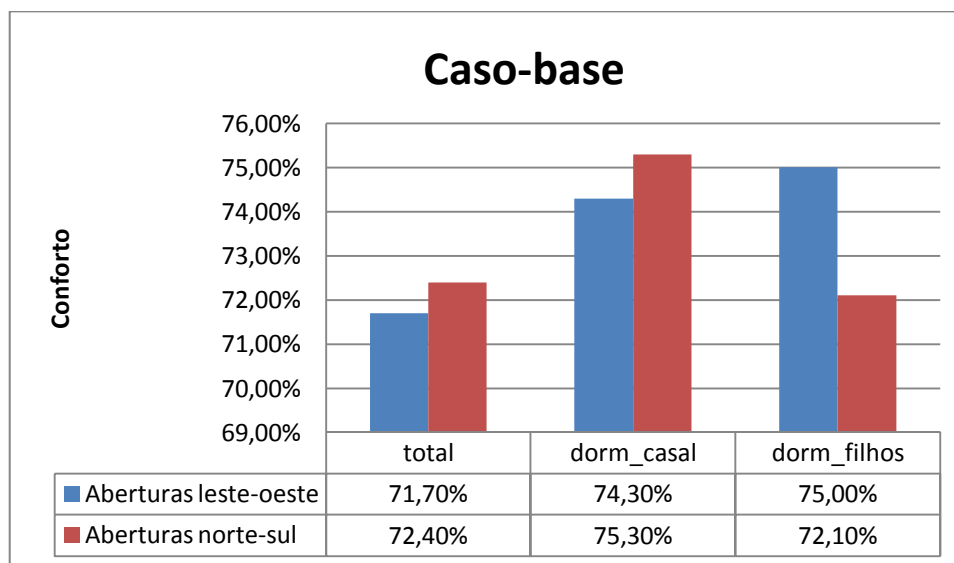


Figura 32 - Conforto Térmico Caso-base

Em relação aos graus-hora totais, os resultados estão representados na Figura 33.

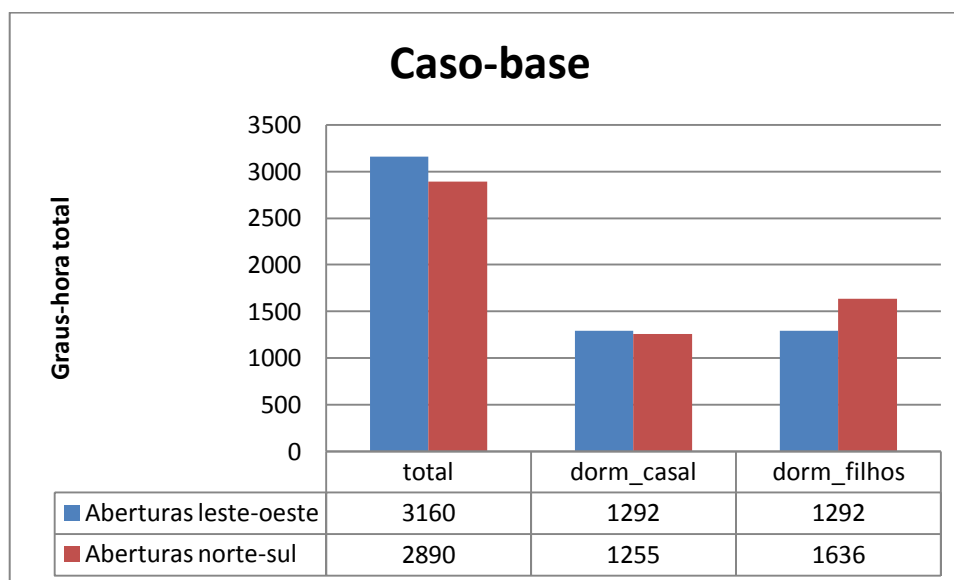


Figura 33 - Graus-hora totais (caso-base)

Os resultados obtidos, tanto em relação ao conforto térmico da habitação, quanto aos graus-hora totais indicaram que a edificação modelada sobre o eixo com aberturas para norte-sul, apresentou melhores resultados, se for analisada como um todo e em todo o período. Percentualmente a diferença foi de apenas 0,7% no conforto térmico analisado através da aplicação do programa *AnalysisBio* (UFSC, 2005) e, em graus-hora, de 270 horas a menos, o

que representou uma redução de 8,5% em relação a edificação implantada com aberturas leste-oeste.

Em relação aos dormitórios, que foram analisados apenas no período ocupado, a implantação com aberturas para norte e sul apresentou os melhores e piores resultados, em função da orientação dos fechamentos transparentes. No dormitório de casal, com janela para o norte, foram obtidos os melhores resultados, e no dormitório dos filhos, com janela para o sul, os piores.

Pela análise dos dados é possível verificar que não há grandes diferenças de conforto térmico e graus-hora para ambientes com janelas para norte, leste ou oeste. Porém, quando o ambiente tem aberturas apenas para o sul, o conforto é significativamente menor e os graus-hora necessários para trazer a temperatura para a zona de conforto são bem mais elevados, cerca de 26% superiores às outras orientações.

#### 4.1.1. Padrões de Conforto

A simulação do caso-base e a quantificação dos valores obtidos, tanto de conforto quanto de graus-hora, nos permitem indicar os padrões de conforto estabelecidos a partir da modelagem da edificação com os limites das propriedades térmicas dos fechamentos, estabelecidos pela NBR 15220-3. Estes valores, indicados nas tabelas 27 e 28, serão comparados com os resultados obtidos a partir da simulação da habitação com outras propriedades dos fechamentos opacos, permitindo verificar a pertinência dos limites estabelecidos pela norma.

#### 4.1.2. Alternativas de Simulação

##### 4.1.2.1. Alteração dos fechamentos verticais - Orientação das aberturas leste-oeste

Primeiramente serão analisados os resultados da habitação implantada sobre o eixo norte-sul, com as aberturas voltadas para leste-oeste, conforme Figura 34.

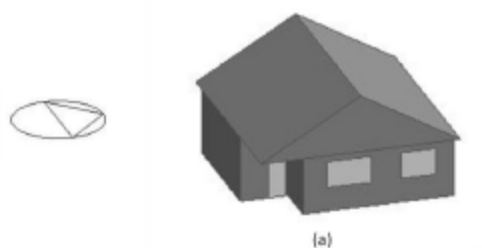


Figura 34 - Habitação implantada com orientação leste-oeste

Os resultados de conforto térmico, para a edificação como um todo, em relação aos atrasos térmicos simulados, para as transmitâncias térmicas de 1,00 à 5,00W/m<sup>2</sup>K, e absorptância solar das paredes de 0,2, estão indicados na Figura 35.

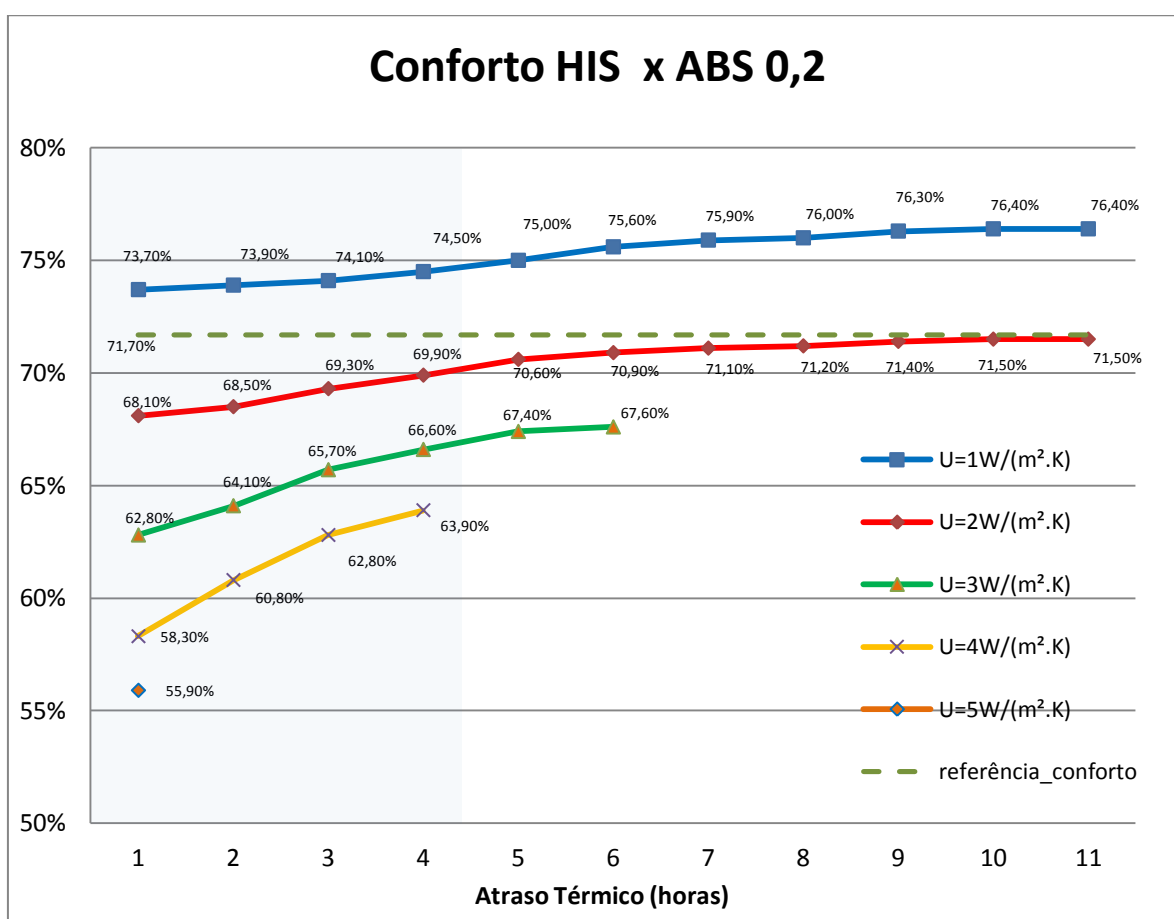


Figura 35 - Conforto total da HIS para paredes de absorptância 0,2 (aberturas leste-oeste)

Os resultados indicaram que, para paredes com uma absorptância solar de 0,2, apenas aquelas que possuem transmitância térmica de 1,00 W/m<sup>2</sup>K conseguem atingir percentuais de

conforto térmico acima de 71,70%, referência de conforto estabelecida pelos resultados obtidos a partir da simulação do caso-base (Tabela 27).

Além disso também podemos observar que o aumento do atraso térmico, dentro dos mesmos valores de transmitância, elevam o conforto no interior da edificação, contrariando as expectativas geradas pela análise das recomendações da NBR 15220-3, que indicam um valor máximo para o atraso térmico dos fechamentos opacos verticais de 4,3 horas.

Outra constatação importante é que, fechamentos de transmitância térmica de 2,00 e 3,00W/m<sup>2</sup>K, com absorptância de 0,2, possuem fator de calor solar de 1,6 e 2,4%, respectivamente, e se encontram dentro dos valores aceitáveis pela norma, de menos de 5%. Estes fechamentos, com atraso térmico até 4,3 horas, que é o valor estabelecido como máximo pela NBR 15220-3, estão dentro dos limites indicados para habitações na zona bioclimática 2 mas, como podemos observar pelos resultados, não atingem os padrões de referência estabelecidos pela simulação do caso-base.

Os resultados de graus-hora, para as mesmas configurações da edificação, estão indicados no Figura 36.

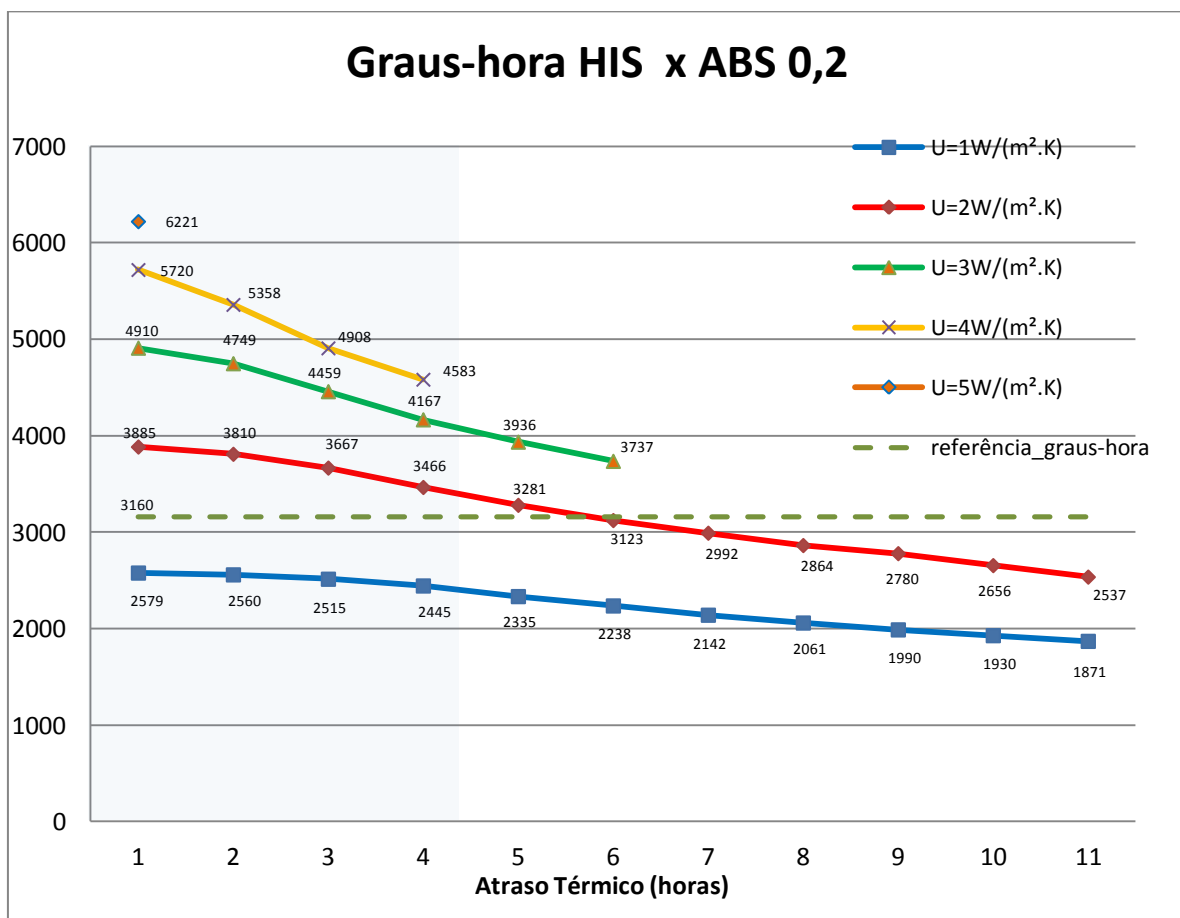


Figura 36 - Graus-hora total da HIS para paredes de absortância 0,2 (aberturas leste-oeste)

Analisando a Figura 35 pode-se concluir que, para qualquer valor de transmitância da parede, dentro dos valores simulados, há uma redução dos graus-hora de desconforto totais com o aumento do atraso térmico do fechamento.

Podemos observar também que, apenas paredes de transmitância térmica  $1,00\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ , possuem graus-hora de desconforto menores que o padrão de referência estabelecido pelo caso-base, para qualquer valor de atraso térmico.

Paredes de  $U=2,00\text{W}/\text{m}^2\text{K}$  conseguem chegar a este limite apenas com atraso térmico maior do que cinco horas e as demais configurações ficam com valores sempre acima do padrão de referência.

Os resultados de conforto térmico obtidos para a edificação como um todo, em relação aos atrasos térmicos simulados, para as transmitâncias térmicas de  $1,00$  à  $5,00\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ , e absortância solar das paredes de 0,5, estão indicados na Figura 37.

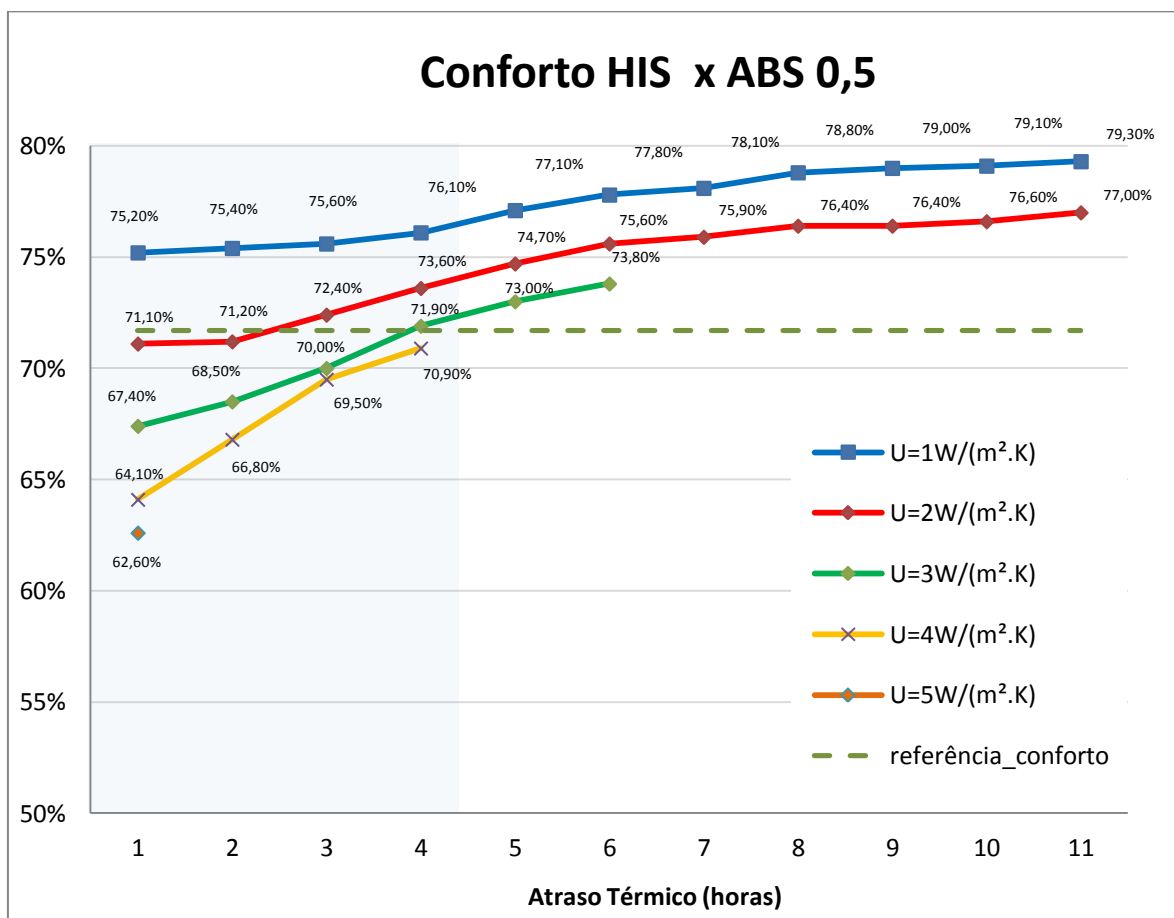


Figura 37 - Conforto total da HIS para paredes de absorvância 0,5 (aberturas leste-oeste)

Os resultados indicaram que, para paredes com uma absorvância solar de 0,5, apenas aquelas que possuem transmitância térmica de  $1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$  conseguem atingir percentuais de conforto térmico acima da referência de conforto estabelecida pela simulação do caso-base, para todos os valores de atraso térmico.

Para paredes com transmitância de  $2,00 \text{ W/m}^2\text{K}$  o valor de referência é ultrapassado para um atraso térmico situado entre duas e três horas. E para fechamentos com transmitância térmica de  $3,00 \text{ W/m}^2\text{K}$  este limite é ultrapassado com um atraso térmico de, aproximadamente, quatro horas.

Para fechamentos com transmitância de  $4,00$  e  $5,00 \text{ W/m}^2\text{K}$  os padrões referenciais de conforto não são atingidos.

A Figura 38 indica os valores obtidos para os graus-hora de desconforto, para paredes com absorvância solar de 0,5 e em todo o período.

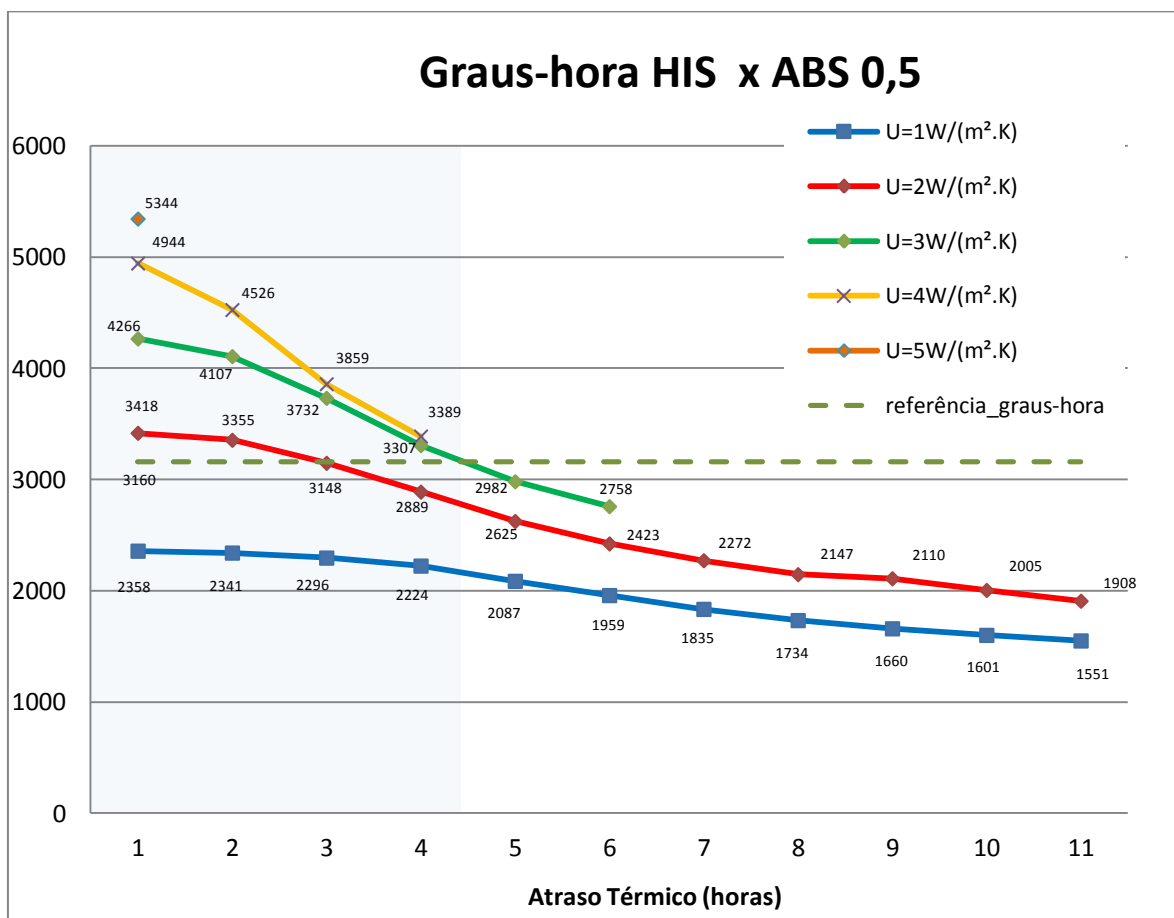


Figura 38 - Graus-hora total da HIS para paredes de absorptância 0,5 (aberturas leste-oeste)

Da mesma forma que observou-se na análise dos percentuais de conforto térmico, apenas a parede de transmitância  $1,00\text{W/m}^2\text{K}$  consegue ficar abaixo do valor de referência, em graus-hora de desconforto, para qualquer atraso térmico simulado. Para a parede de  $U=2,00\text{W/m}^2\text{K}$  isto só é conseguido com um atraso de três horas e para a parede de  $U=3,00\text{W/m}^2\text{K}$  com um atraso entre quatro e cinco horas.

Os resultados de conforto térmico obtidos para a edificação como um todo, em relação aos atrasos térmicos simulados, para as transmitâncias térmicas de  $1,00$  à  $5,00\text{W/m}^2\text{K}$ , e absorptância solar das paredes de 0,7, estão indicados na Figura 39.

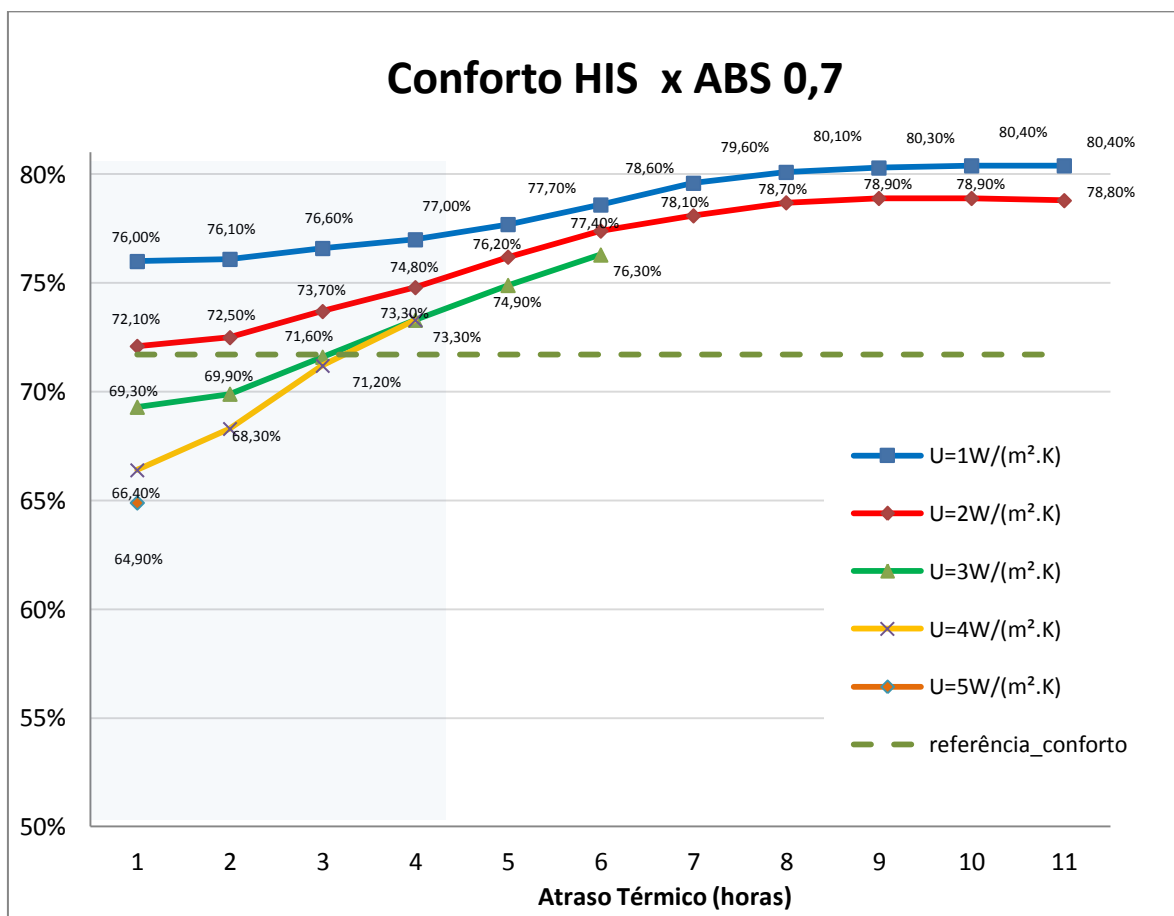


Figura 39 - Conforto total da HIS para paredes de absorvância 0,7 (aberturas leste-oeste)

Os resultados indicaram que, para paredes com uma absorvância solar de 0,7, apenas aquelas que possuem transmitância térmica de 1,00 e 2,00W/m²K, conseguiram atingir percentuais de conforto térmico acima da referência de conforto estabelecida pela simulação do caso-base, para todos os valores de atraso térmico.

Cabe salientar que, apesar de não ser indicada pela NBR 15220-3, por ter seu fator de calor solar acima do limite estabelecido de 5%, a parede de transmitância térmica de 2,00W/m²K e absorvância solar de 0,7 (FCS= 5,6%) obteve, para qualquer valor de atraso térmico, níveis de conforto superiores ao caso-base.

Para paredes com transmitância de 3,00W/m²K o valor de referência é atingido para um atraso térmico muito próximo as três horas. Para fechamentos com transmitância térmica de 4,00W/m²K este limite é ultrapassado apenas com um atraso térmico de quatro horas. E



para fechamentos com transmitância de  $5,00\text{W/m}^2\text{K}$  os padrões referenciais de conforto não são atingidos.

A Figura 40 indica os valores obtidos para os graus-hora de desconforto, para paredes com absorptância solar de 0,7, e em todo o período.

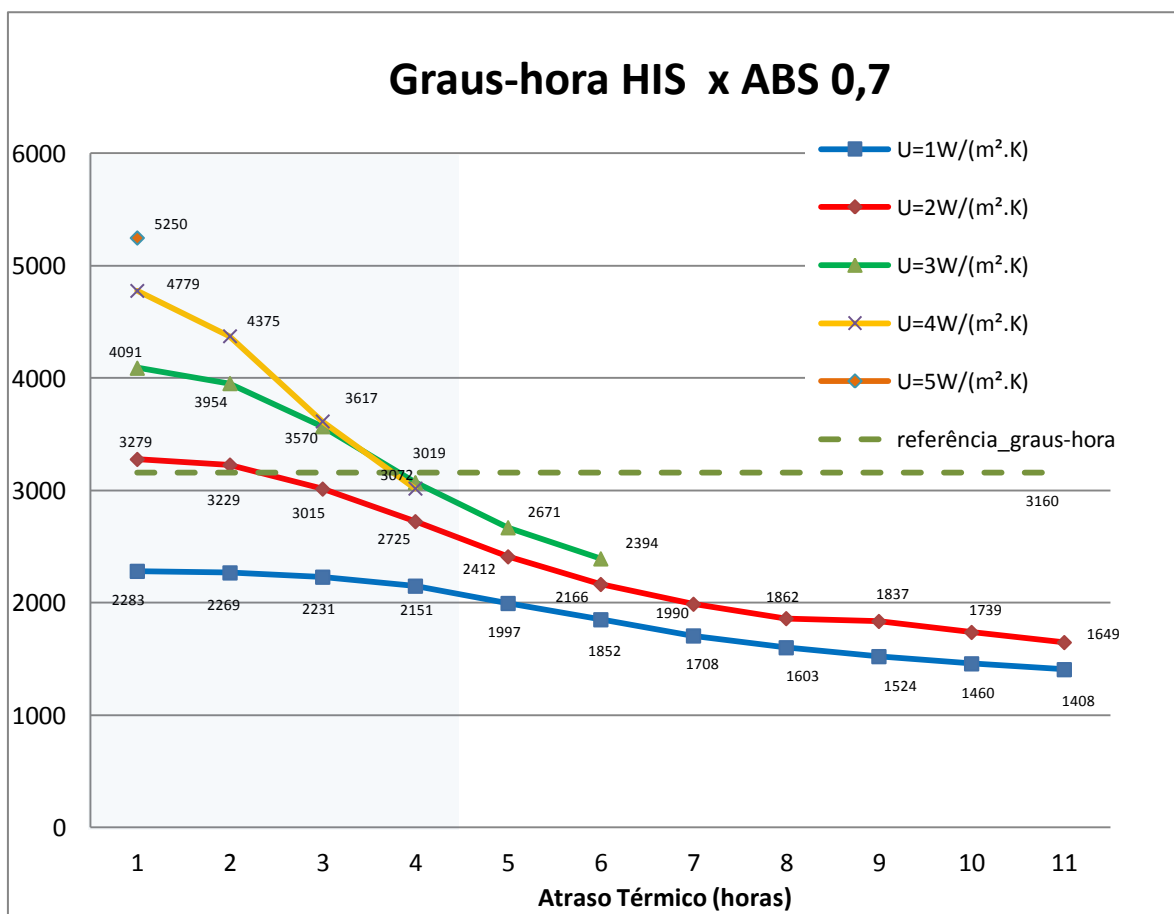


Figura 40 - Graus-hora total da HIS para paredes de absorptância 0,7 (aberturas leste-oeste)








































































































































































































Analisando o gráfico acima percebe-se que há uma aproximação maior entre as curvas de graus-hora para as diferentes transmitâncias. Além das paredes com  $U=1,00\text{W/m}^2\text{K}$ , que ficam sempre com valores abaixo do nível de referência, e com exceção das paredes de transmitância de  $5,00\text{W/m}^2\text{K}$ , todas as demais conseguem valores inferiores aos de referência, porém com atrasos térmicos entre duas e quatro horas.

A partir da análise das Figuras de 35 à 40, que indicam tanto os níveis de conforto quanto de graus-hora de desconforto para as modificações das características dos fechamentos

opacos verticais, concluí-se que, quanto maior a absorvência solar do fechamento, maiores os níveis de conforto obtidos, para a zona bioclimática 2.


Além disso mantêm-se uma tendência, observada em todos os gráficos anteriores, tanto de conforto quanto de graus-hora, de que a partir do atraso térmico de oito horas, é praticamente insignificante a modificação dos níveis de conforto no interior da edificação, havendo um nivelamento dos níveis de conforto e graus-hora. Isto pode significar um limite econômico para o valor superior indicado de atraso térmico, já que o custo necessário para aumentar a capacidade térmica dos fechamentos não está significando um aumento nos níveis de conforto térmico.


A Tabela 29 nos dá uma indicação de quais configurações de fechamentos simulados proporcionam conforto acima do referencial estabelecido pelo caso-base e, destas, quais são indicadas ou não pela NBR 15220-3.

U (W/m²K)	1			2			3			4			5					
 (hs)																		
1																		
																		
2																		
																		
3																		
																		
4																		
																		
5																		
																		
6																		
																		
7																		
																		
8																		
																		
9																		
																		
10																		
																		
11																		
																		


Convenções


NBR 15220-3 (recomendações)

 aprovado

 reprovado

Comparação com referencial de conforto

 acima do % conforto

 abaixo do % conforto

Absortância solar





 0,2    0,5    0,7

Tabela 29- Resumo das configurações de paredes simuladas (aberturas leste-oeste)


A Tabela 29 já nos mostra a grande quantidade de alternativas simuladas que proporcionam conforto térmico maior que a referência estabelecida pelos limites da própria norma, mas não são indicadas pela mesma. Além de várias outras alternativas que, indicadas pela norma, não atingem o valor de referência.


Na Tabela 30 buscamos visualizar os resultados apenas daquelas configurações que possuem fechamentos com valores de propriedades térmicas exemplificados na NBR 15220-3.

U (W/m²K)	1			2			3			4			5		
 (hs)															
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															


Convenções


NBR 15220-3 (recomendações)

 aprovado

 reprovado

Comparação com referencial de conforto

 acima do % conforto

 abaixo do % conforto

Absortância solar




 0,2    0,5    0,7

Tabela 30- Resumo das configurações de paredes simuladas que possuem características semelhantes as da NBR 15220-3 (aberturas leste-oeste)

A Tabela 30 mostra que as duas únicas configurações de paredes simuladas que a norma indica, de transmitância térmica de  $3,00\text{W/m}^2\text{K}$  e absorptância de 0,2 ( $FS_0 < 5\%$ ), com atrasos de três e quatro horas, não proporcionam conforto superior à referência estabelecida.

Além disso várias outras configurações que apresentam conforto térmico adequado não são indicadas, ou por terem atraso térmico superior ao limite estabelecido para a zona bioclimática 2, de 4,3 horas, ou por possuírem fator de calor solar superior aos 5% definidos como limite máximo para a mesma zona.

Após a análise da edificação como um todo, durante as 24 horas do dia e todo o ano, fez-se uma análise dos níveis de conforto térmico e graus-hora do dormitório dos filhos, durante todo o ano, mas somente no período noturno, compreendido entre 21 horas e 8 horas da manhã, no qual o dormitório está ocupado, segundo os padrões adotados no trabalho, e que se referenciam ao RTQ-R (INMETRO, 2009).

Nas Figuras 43 e 44 podemos observar os resultados obtidos para o dormitório dos filhos, com paredes de absorptância solar 0,2.

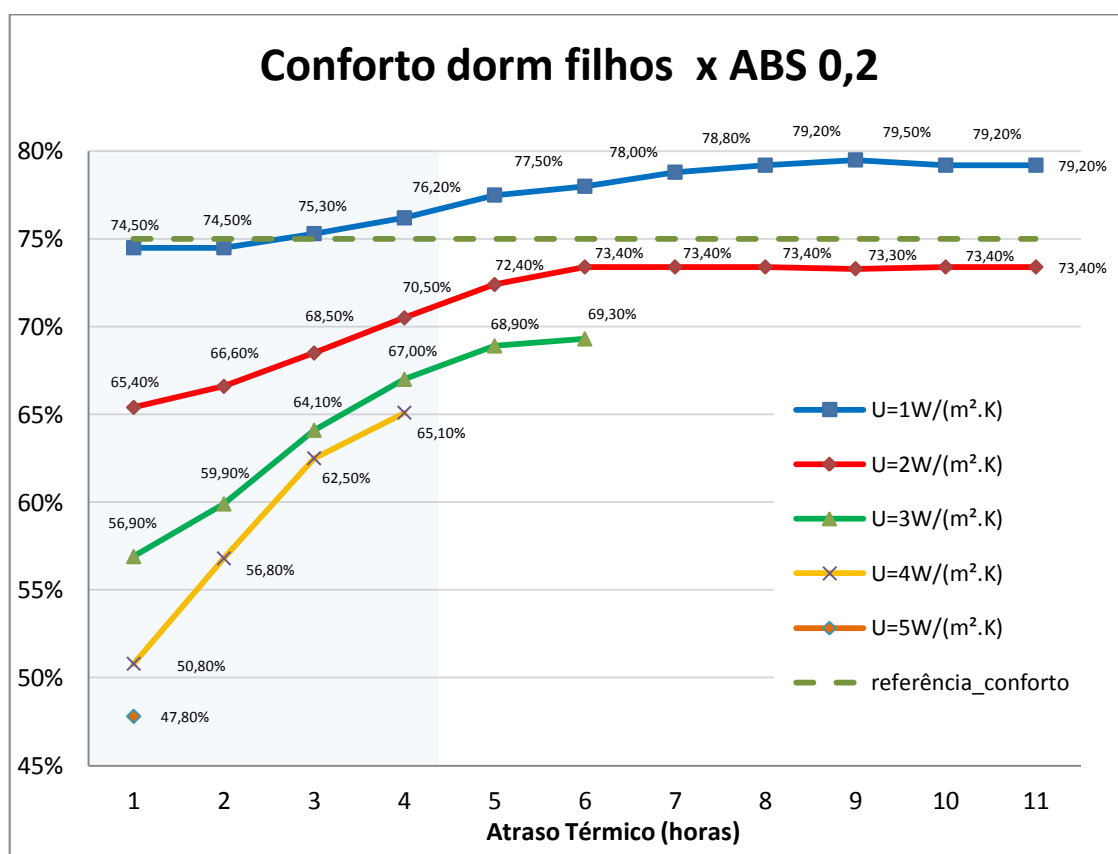


Figura 41 - Conforto dormitório dos filhos para paredes de absorptância 0,2 (aberturas leste-oeste)

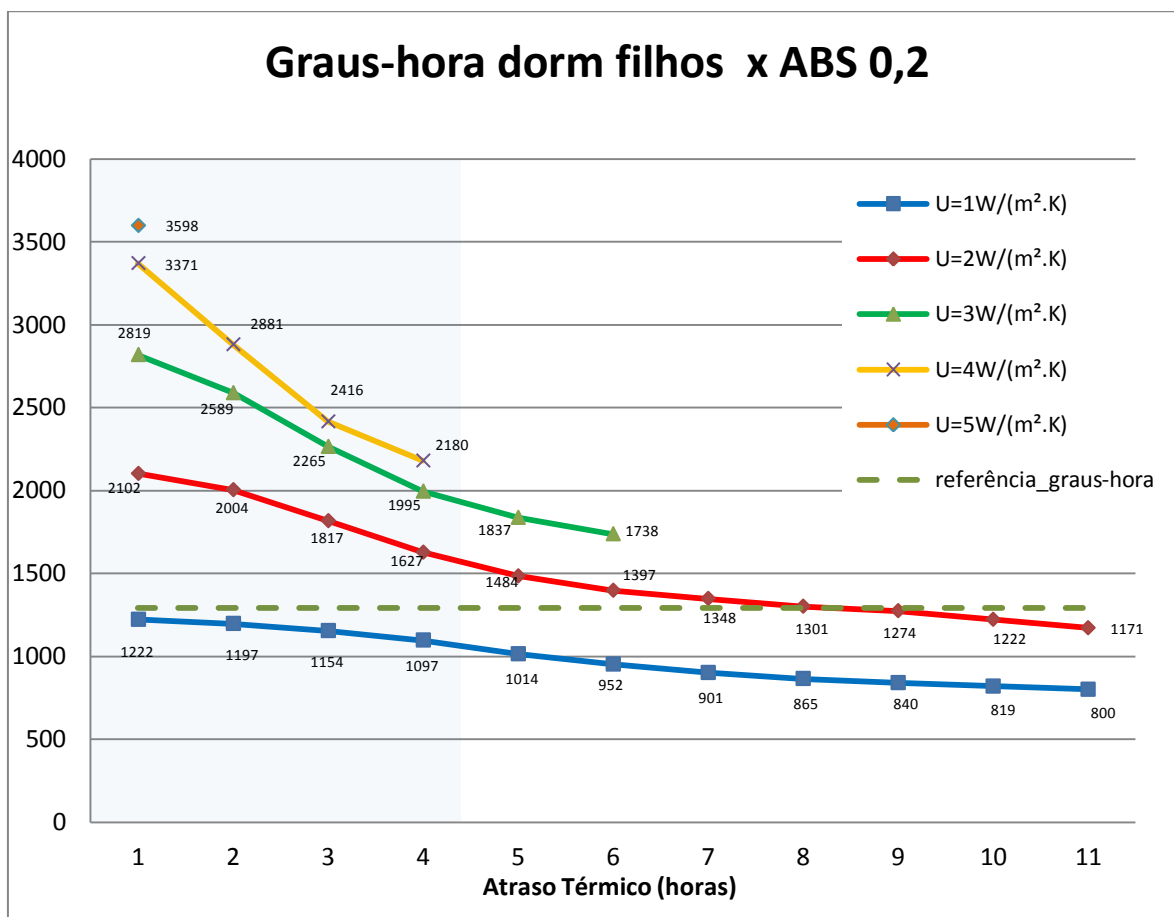


Figura 42 - Graus-hora total do dormitório dos filhos para paredes de absorptância 0,2 (aberturas leste-oeste)

Para o dormitório dos filhos, com paredes com absorptância solar de 0,2, apenas quando as paredes de transmitância térmica de  $1,00\text{W/m}^2\text{K}$  atingiram um atraso térmico de 3 horas, o ambiente ultrapassou os padrões de conforto obtidos pelo caso-base, de 75%. Para as outras configurações de transmitância de parede, de 2,00 à  $5,00\text{W/m}^2\text{K}$ , este padrão não chegou a ser atingido em nenhum momento.

Já em relação à análise de graus-hora, somente a parede de transmitância térmica de  $1,00\text{W/m}^2\text{K}$  apresentou valores abaixo dos graus-hora de desconforto térmico de referência. A parede de  $U=2,00\text{W/m}^2\text{K}$ , apenas com um atraso entre oito e nove horas, consegue ficar abaixo do limite estabelecido e as demais, para qualquer valor de atraso térmico, ficam sempre acima do valor de referência.

Nas Figuras 45 e 46 podemos observar os resultados obtidos para o dormitório dos filhos, com paredes de absorvência solar 0,5.

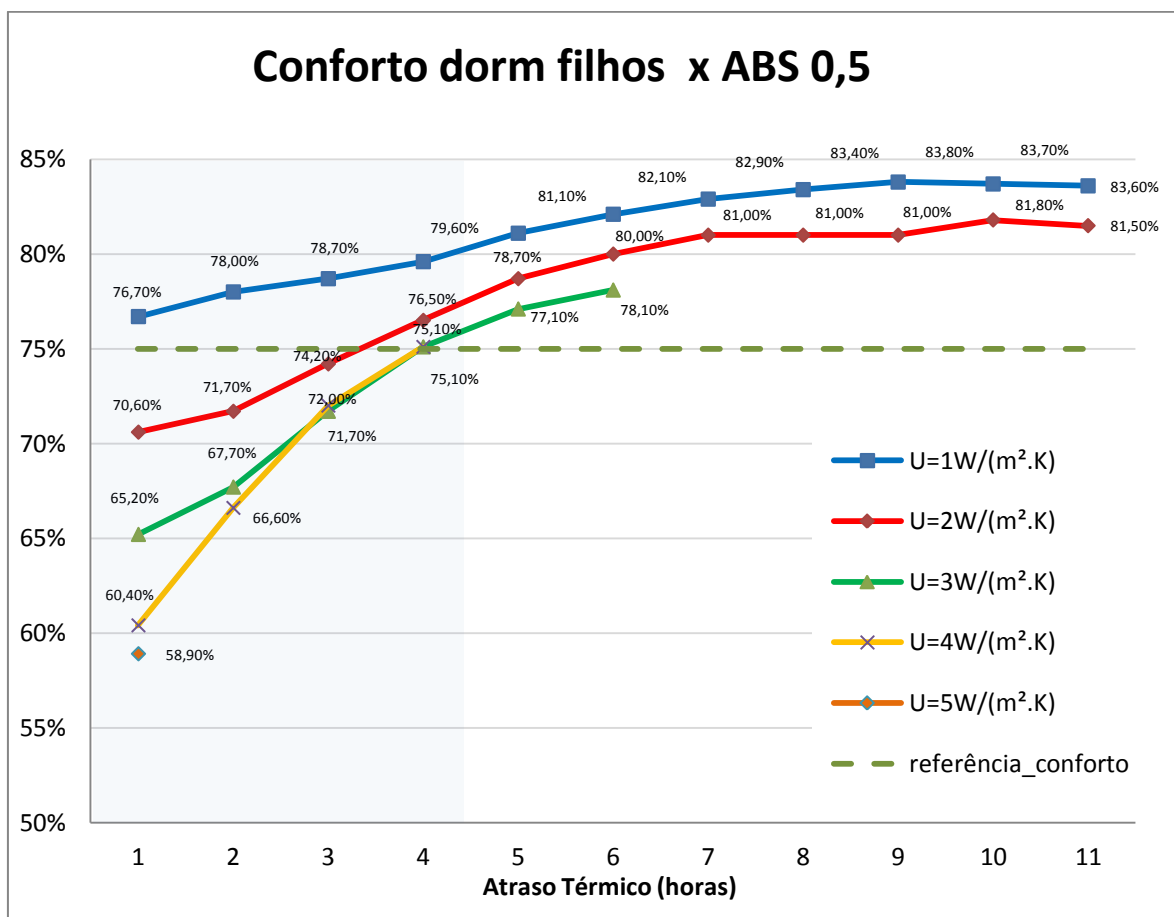


Figura 43 - Conforto dormitório dos filhos para paredes de absorvência 0,5 (aberturas leste-oeste)

Para o dormitório dos filhos, com paredes com absorvência solar de 0,5, apenas as paredes de transmitância térmica de  $1,00\text{W/m}^2\text{K}$  ultrapassaram os padrões de conforto obtidos pelo caso-base para qualquer atraso térmico simulado. Para paredes com transmitância de  $2,00\text{W/m}^2\text{K}$  o valor de referência é ultrapassado para um atraso térmico situado entre três e quatro horas. E para fechamentos com transmitância térmica de  $3,00\text{W/m}^2\text{K}$  este limite é ultrapassado com um atraso térmico de quatro horas.

Para fechamentos com transmitância de  $4,00\text{W/m}^2\text{K}$  os padrões referenciais de conforto também são atingidos para um atraso térmico de quatro horas. Porém, com estas características, apesar de ser simulado, não temos nenhum fechamento vertical especificado na NBR 15220-3.

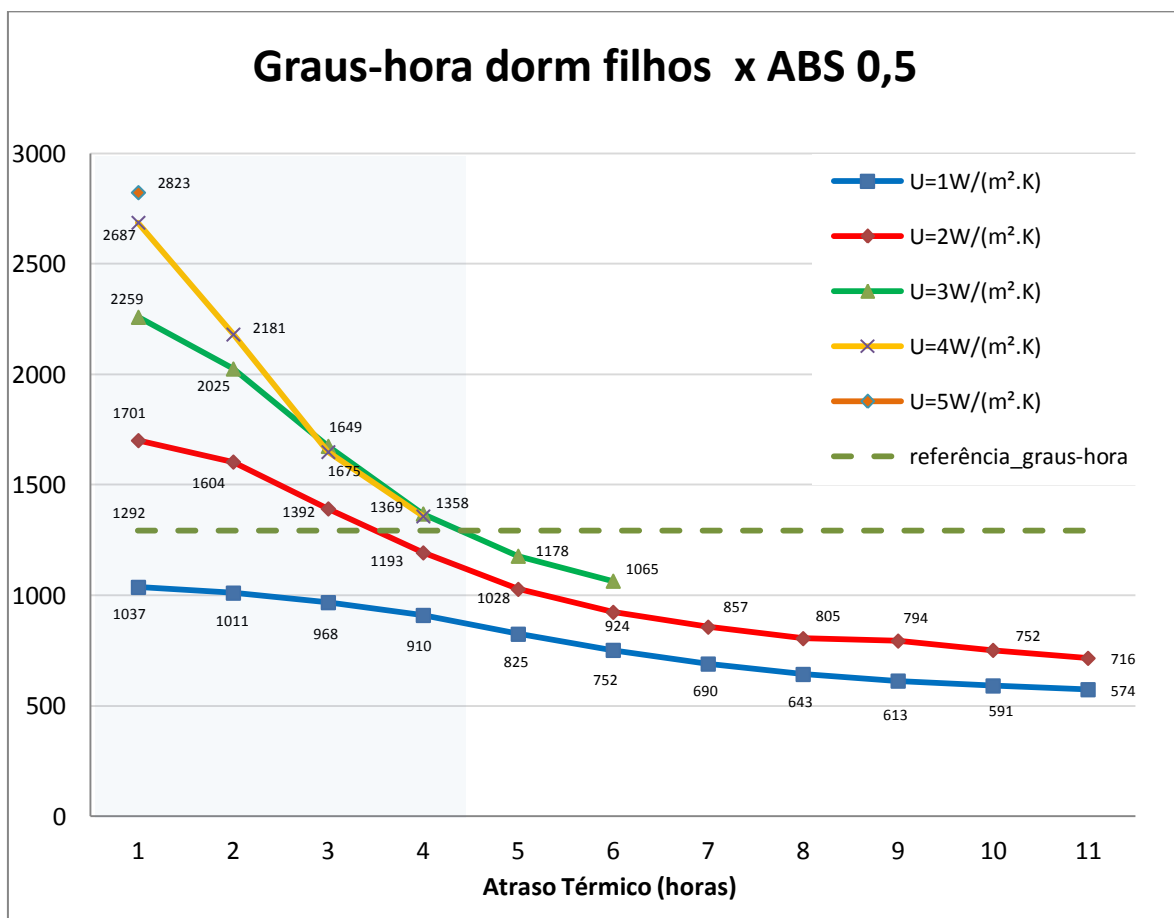


Figura 44 - Graus-hora total do dormitório dos filhos para paredes de absortância 0,5 (aberturas leste-oeste)

Em relação aos graus-hora de desconforto, analisado apenas no período noturno, somente a parede de transmitância térmica de  $1,00\text{W}/\text{m}^2\text{K}$  apresentou valores abaixo dos graus-hora de referência. A parede de  $U=2,00\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ , com um atraso entre três e quatro horas, e a de  $U=3,00\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ , com um atraso entre quatro e cinco horas, conseguem ficar abaixo do limite de referência.

Nas Figuras 47 e 48 podemos observar os resultados obtidos para o dormitório dos filhos, com paredes de absortância solar 0,7.



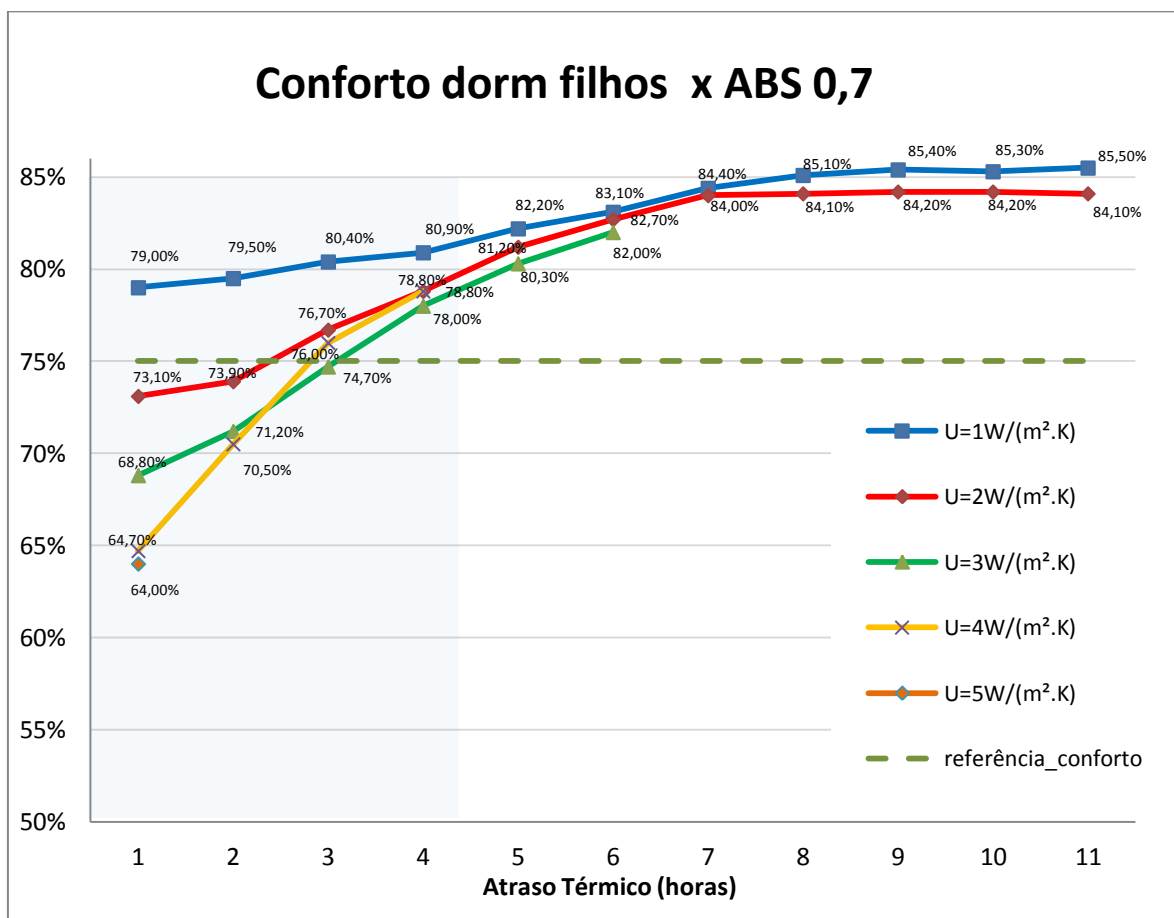


Figura 45 - Conforto dormitório dos filhos para paredes de absorvância 0,7 (aberturas leste-oeste)

Para o dormitório dos filhos, com paredes com absorvância solar de 0,7, apenas as habitações com paredes de transmitância térmica de  $1,00\text{W/m}^2\text{K}$  ultrapassaram, para qualquer atraso térmico simulado, os padrões de conforto obtidos pelo caso-base. Para paredes com transmitância de  $2,00\text{W/m}^2\text{K}$  o valor de referência é ultrapassado para um atraso térmico situado entre duas e três horas. E para fechamentos com transmitância térmica de  $3,00\text{W/m}^2\text{K}$  este limite é ultrapassado com um atraso térmico de quatro horas.

Para fechamentos com transmitância de  $4,00\text{W/m}^2\text{K}$  os padrões referenciais de conforto também são atingidos para um atraso térmico entre duas e três horas. Porém, com estas características, apesar de ser simulado, não temos nenhum fechamento vertical especificado na NBR 15220-3, conforme nos mostra a Tabela 23.

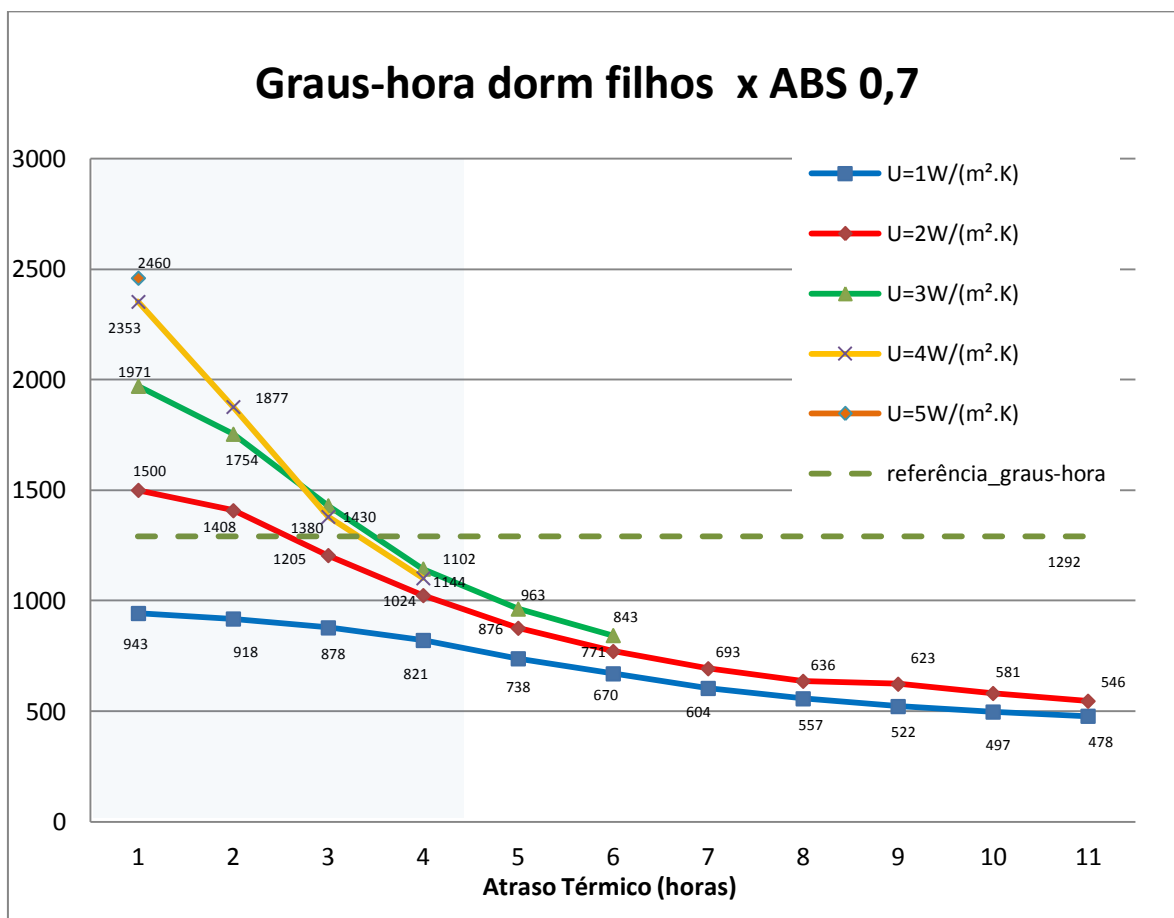


Figura 46 - Graus-hora total do dormitório dos filhos para paredes de absortância 0,7 (aberturas leste-oeste)

Os gráficos de conforto e graus-hora do dormitório dos filhos mostram a mesma tendência que se observou para a habitação como um todo, com variações apenas em relação ao valor mínimo de atraso térmico necessário para que as curvas ultrapassem os referenciais de conforto e graus-hora estabelecidos.

Além disso, no dormitório, analisado apenas no horário noturno, a curva de crescimento de conforto é mais acentuada, em relação ao aumento do atraso térmico, do que as curvas da habitação como um todo. Por exemplo, para uma transmitância térmica de  $3,00\text{W/m}^2\text{K}$ , que é o limite estabelecido pela norma, e absortância dos fechamentos de 0,7, o dormitório, para atraso térmico de uma hora, tem um conforto de 67,70%, contra 69,30% da habitação analisada durante todo o período. No limite estabelecido pelo trabalho para o atraso térmico, de 11 horas, o conforto dos dormitórios passa a ser de 82,70%, contra 76,30% da

habitação. Enquanto o dormitório elevou o seu conforto em mais de 22% do valor inicial, a habitação como um todo elevou apenas cerca de 10% as horas de conforto no seu interior.

Isto pode estar ocorrendo porque o aumento do atraso térmico, para uma parede de mesmo valor de transmitância, indica um aumento da sua capacidade térmica e, conseqüentemente, de sua inércia térmica. O que é mais benéfico no período noturno, quando as temperaturas são mais baixas, e o calor absorvido pelas paredes durante o dia pode ser devolvido para o ambiente à noite, elevando sua temperatura e seus níveis de conforto.

Apesar do aumento do atraso térmico estar se mostrando mais benéfico para o aumento de conforto e redução dos graus-hora totais no dormitório, é interessante verificar o que está ocorrendo neste ambiente em relação as trocas térmicas dos fechamentos com as variações de absorptâncias simuladas, e a temperatura interna no ambiente.

Para a definição dos dias a serem analisados, constatamos, a partir dos dados do arquivo TMY para a cidade de Santa Maria, que a temperatura externa máxima de verão ocorre às 15h do dia 26 do mês de janeiro, e é de 36°C. A menor temperatura no inverno ocorre no dia 26 de junho, e é de -1,2°C. A análise será feita, portanto, nestes dias, utilizando a mesma metodologia proposta por Matos (2007).

A figura 49 procura comparar os resultados obtidos, para um dia de verão, em relação às trocas térmicas do ambiente com às paredes externas, e a relação entre as temperaturas externa e interna do dormitório dos filhos, para o caso-base, para uma parede com fechamento de transmitância de 1,00W/m<sup>2</sup>K e atraso térmico de 11 horas e outra com U=5,00W/m<sup>2</sup>K e atraso térmico de 1 hora. Estas configurações representam os extremos de conforto térmico e de graus-hora para as alternativas simuladas.

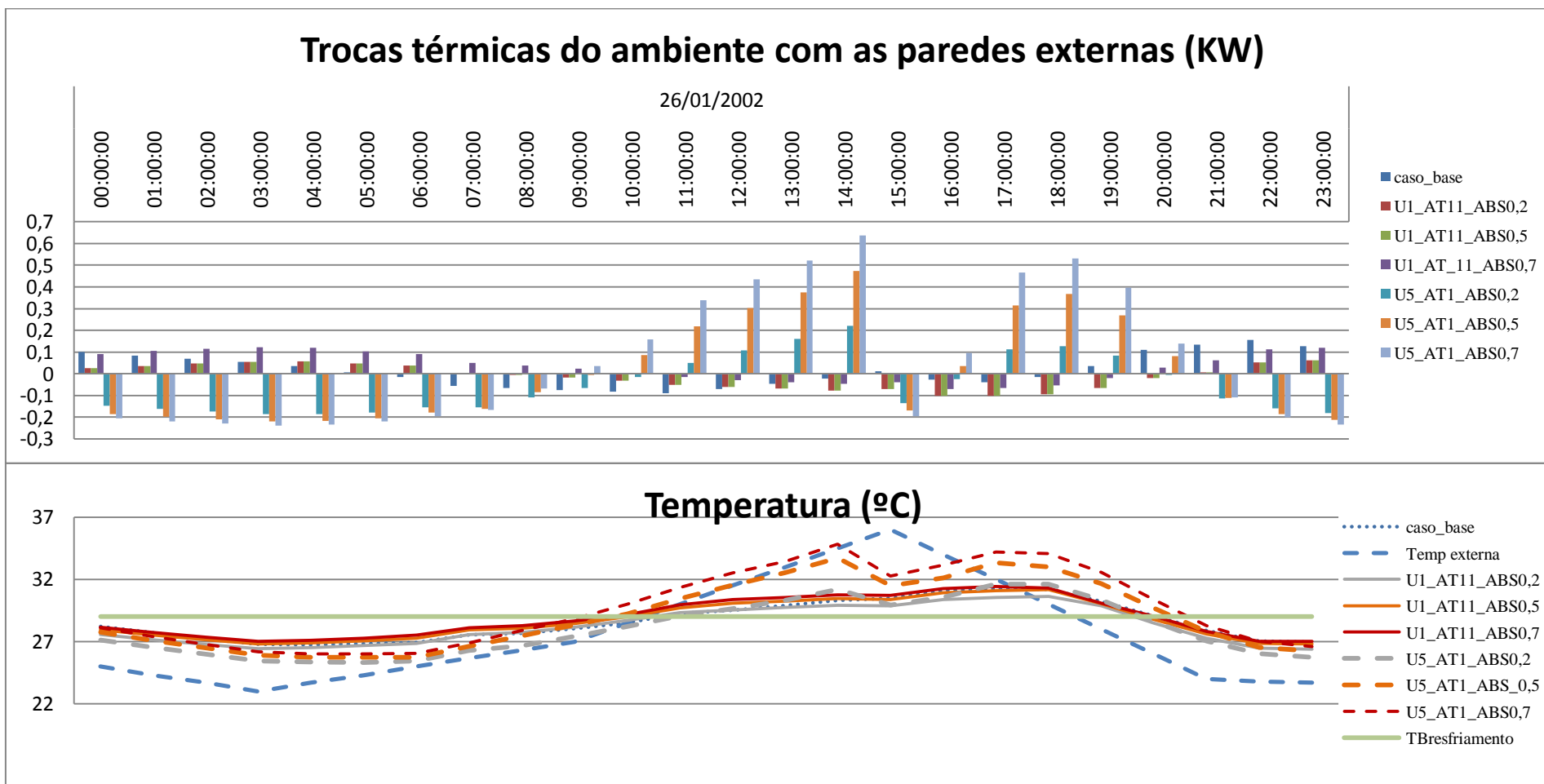


Figura 47 - Comparação entre trocas térmicas do dormitório dos filhos com a parede e temperaturas internas (verão)

A figura 49 nos mostra que a temperatura interna no dormitório, para fechamentos de  $U=5,00\text{W/m}^2\text{K}$ , onde se observa que das 0h até às 8h o ambiente interno perde calor pela parede para o ambiente externo, em função das diferenças de temperatura. Observa-se também que há uma pequena diferença da perda de calor em função do coeficiente de absorção, pois coeficientes de absorção maiores absorveram maior quantidade de calor durante o dia anterior, aquecendo mais a parede e consequentemente cedendo maior quantidade de calor. Este maior fluxo de calor em função do coeficiente de absorção pode ser observado a partir das 10h, quando o ambiente interno recebe, da parede com  $\alpha=0,7$ , cerca de três vezes mais calor do que a parede com  $\alpha=0,2$ . Consequentemente as temperaturas internas do ambiente cujas paredes possuem  $U=5,00\text{W/m}^2\text{K}$  tendem à acompanhar a elevação da temperatura externa, com exceção da parede com  $\alpha=0,2$  que tem um comportamento muito próximos das paredes com  $U=1,00\text{W/m}^2\text{K}$ . A amplitude térmica do clima externo, que no dia analisado foi de cerca de  $13^\circ\text{C}$ , foi reduzida para  $8^\circ\text{C}$  nesta configuração de parede. Ao consultar os arquivos climáticos verificou-se que das 13hs às 15h houve um grande aumento da nebulosidade, provavelmente seguida de uma rápida chuva de verão, que proporcionou a inversão momentânea do fluxo de calor e uma acentuada queda da temperatura externa de cerca de  $10^\circ\text{C}$  em apenas 6 horas.

Nos ambientes com paredes com  $U=1,00\text{W/m}^2\text{K}$  praticamente não há troca de calor pelas paredes, sendo os fluxos sempre inferiores a  $0,1\text{KW}$ . Devido ao elevado atraso térmico as paredes tem comportamento inverso ao comportamento da temperatura externa, ganhando calor do exterior durante o dia e cedendo para o ambiente durante à noite. Consequentemente, estas paredes geram grande amortecimento na amplitude de temperatura interna, reduzindo-a para cerca de  $4^\circ\text{C}$ .

A Figura 50 utiliza as mesmas transmitâncias de fechamentos verticais para verificar a influência das trocas térmicas das paredes externas pintadas com cores de absortância de 0,2, 0,5 e 0,7, para o dia de inverno que tem a temperatura mais baixa do ano de referência.

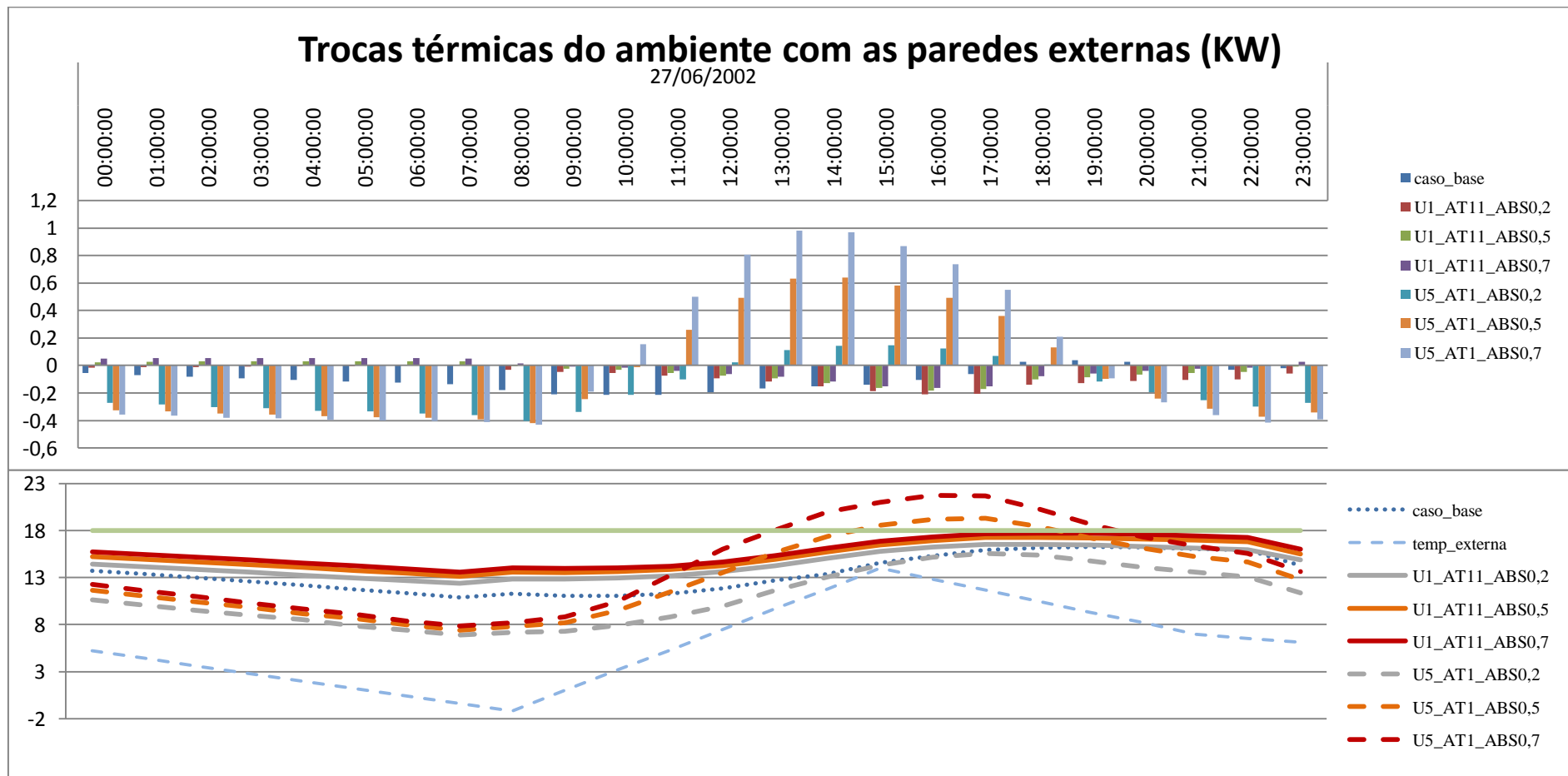


Figura 48 - Comparação entre trocas térmicas do dormitório dos filhos com a parede e temperaturas internas (inverno)

Na Figura 50 podemos observar que as trocas térmicas da parede de transmitância  $5,00\text{W/m}^2\text{K}$  são muito maiores com o ambiente, da mesma forma que no período de verão anteriormente analisado. Com isso as temperaturas do ambiente, nesta configuração, são as mais baixas, cerca de  $4^\circ\text{C}$  menores que o caso-base, e também as mais altas, sendo as únicas que ultrapassam a temperatura base de conforto, de  $18^\circ\text{C}$ , nas absorptâncias de 0,5 e 0,7. A amplitude térmica, porém, é praticamente a mesma da temperatura externa, de aproximadamente  $13^\circ\text{C}$ .

As paredes de  $U=5,00\text{W/m}^2\text{K}$  com absorptância de 0,5 e 0,7 ganham calor por radiação e fazem com que as temperaturas internas do período diurno ultrapassem a temperatura base e o desempenho do caso base. Entretanto, no período noturno perdem grande quantidade de calor, geram amplitude de cerca de  $14^\circ\text{C}$  e proporcionam desempenho pior do que o caso base e temperaturas muito mais baixas do que as paredes de  $U=1,00\text{W/m}^2\text{K}$ . A parede com absorptância de 0,2 durante a noite tem o mesmo desempenho insatisfatório, com o agravante de não conseguir gerar um aquecimento, durante o dia, capaz de ultrapassar a temperatura base.

Por outro lado, as paredes com  $U=1,00\text{W/m}^2\text{K}$ , embora em nenhum momento ultrapassem a temperatura base, durante todo o período ficam mais próximas desta e superam o desempenho do caso base. Assim como aconteceu no período de verão, os fluxos de calor por estas paredes são bastante pequenos e, em função do elevado atraso térmico, tem comportamento inverso à temperatura externa, gerando uma amplitude de apenas  $4^\circ\text{C}$ .

Pelo que observamos nas Figuras 49 e 50 paredes de transmitância de  $1,00\text{W/m}^2\text{K}$  proporcionam, em relação ao caso-base e a habitação de transmitância  $5,00\text{W/m}^2\text{K}$ , temperaturas mais elevadas à noite, durante o inverno, e mais moderadas durante o verão. Isto se reflete na diferença de graus-hora que existem entre as diferentes configurações de fechamento.

Outra observação relevante é que, embora os atrasos dos componentes verticais variassem de 1h à 11hs, o atraso térmico da edificação ficou em cerca de 2 à 4hs, independente da transmitância e da cor das superfícies. Isso ocorre porque a edificação responde não a um componente isolado, mas ao conjunto de componentes em interação bastante complexa.

Os graus-hora do caso-base estabeleceram a referência para análise das demais configurações e, para o dormitório dos filhos são de 1292, para os graus-hora totais, 1237 para os graus-hora de aquecimento e 55 para resfriamento, conforme tabela 27.

Para as configurações anteriormente analisadas, de transmitâncias de 1 e 5,00W/m<sup>2</sup>K, os valores estão indicados na Tabela 29.

Tabela 31 - Graus-hora do dormitório dos filhos para transmitâncias de 1,00 e 5,00W/m<sup>2</sup>K

ABS	U = 1 W/(m <sup>2</sup> .K)			U = 5 W/(m <sup>2</sup> .K)		
	GH TOTAL	GH RESFRI.	GH AQUEC.	GH TOTAL	GH RESFRI.	GH AQUEC.
$\alpha = 20\%$	800	12	788	3598	29	3569
$\alpha = 50\%$	574	25	549	2823	65	2758
$\alpha = 70\%$	478	37	441	2460	102	2358

Pode-se perceber que mais de 95% dos graus-hora totais necessários para o dormitório, no caso-base e nas demais configurações, são de aquecimento, o que é um reflexo do próprio clima, visto que os graus-hora do arquivo climático apresentam a mesma proporção.

Nota-se, para as duas configurações simuladas, que a redução do número de graus-hora totais ocorre em função da redução dos graus-hora de aquecimento, pois os graus-hora de resfriamento aumentam com a absortância maior das paredes. Mesmo paredes de U=1,00W/m<sup>2</sup>K, que mostram pequenas variações de temperatura interna, em torno de 0,5°C por hora, na comparação entre absortâncias de 0,2 e 0,7, em função do grande número de horas em que estão abaixo da temperatura base de aquecimento, acabam por reduzir significativamente o número total de graus-hora.

Sem dúvida alguma é esta grande diferença que faz com que estratégias de condicionamento térmico passivo voltadas para o período frio influenciem muito mais os resultados de conforto térmico no interior da edificação. Absortâncias solares maiores, que indicam maiores valores de fator de calor solar, e atrasos térmicos superiores aos recomendados pela NBR 15220-3, que indicam maior inércia térmica dos fechamentos são, depois da transmitância, os que proporcionam maiores níveis de conforto, pelo que observamos com as simulações realizadas, para a zona bioclimática 2.



#### 4.1.2.2. Alteração dos fechamentos verticais - Orientação das aberturas norte-sul

Para podermos comparar o efeito da mudança do eixo de implantação da habitação, nas diversas alternativas de configurações do envelope, mais especificamente dos fechamentos verticais, a edificação foi simulada e analisada quando implantada sobre o eixo leste-oeste, com aberturas para norte e sul.

Os resultados obtidos mostraram a mesma tendência daqueles obtidos para a habitação modelada sobre o eixo norte-sul, com pequena variação na configuração de  $U=2,00\text{W/m}^2\text{K}$  e absorptância solar de 0,5, em que o percentual de conforto foi atingido com um atraso térmico um pouco superior a três horas (Figura 51), enquanto que na análise anterior tínhamos verificado que isto se dava com um atraso entre duas e três horas. No mesmo gráfico podemos observar que as paredes com transmitância de  $3,00\text{W/m}^2\text{K}$  e absorptância solar de 0,5 ultrapassam a linha de referência de conforto com um atraso térmico um pouco superior a quatro horas, enquanto que com a habitação modelada sobre o eixo norte-sul isto ocorria com um atraso levemente inferior a quatro horas.

Na análise do dormitório dos filhos praticamente não existem alterações em relação à análise já feita para a habitação modelada sobre o eixo norte-sul.

Em função desses resultados próximos as análises levarão em conta a habitação modelada sobre o eixo norte-sul, com aberturas voltadas para leste-oeste.

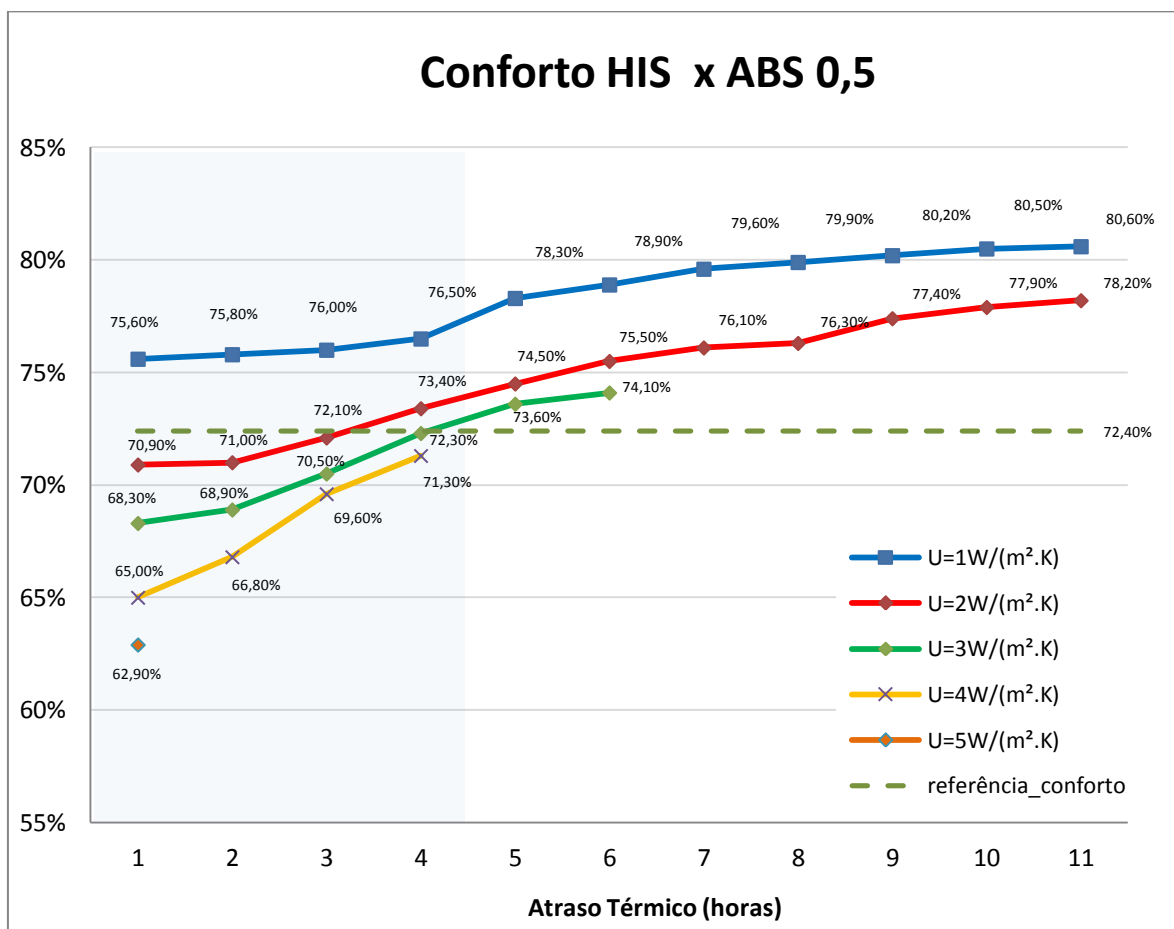


Figura 49 - Conforto total da HIS para paredes de absorvância 0,5 (eixo leste-oeste)

#### 4.1.2.3. Alteração dos Fechamentos Horizontais

A análise da influência das modificações da cobertura será feita apenas com a edificação implantada sobre o eixo norte-sul, pois o estudo sobre a influência da modificação do eixo apenas da cobertura, apresentado no item 3.1.7.1, nos indicou pequenas variações nos índices de conforto e graus-hora, confirmando pesquisa feita por Grigoleti (2007) com especialistas em conforto térmico.

A cobertura do caso-base foi modelada respeitando os limites máximos estabelecidos pela NBR 15220-3, com  $U=2,00\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ , atraso térmico de 3,3hs e fator de calor solar de 6,5%, o que resulta em uma absorvância de 0,81.

Os resultado de conforto térmico, para a edificação como um todo, em relação aos atrasos térmicos simulados, para as transmitâncias térmicas de 1,00 à 5,00W/m<sup>2</sup>K, e absorptância solar da cobertura de 0,2 estão indicados na Figura 52.

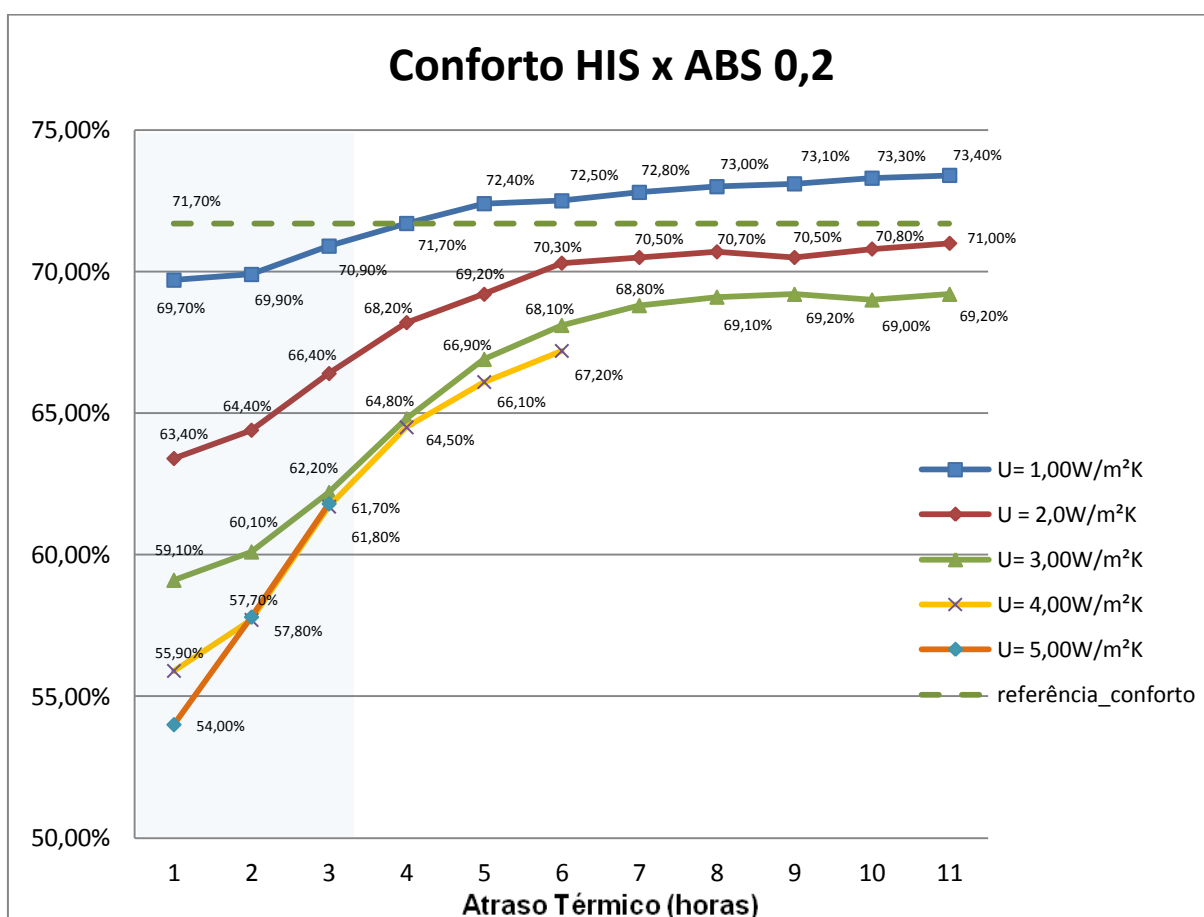


Figura 50 - Conforto HIS para cobertura com absorptância de 0,2

Os resultados indicaram que, para coberturas com uma absorptância solar de 0,2, apenas aquelas que possuem transmitância térmica de 1,00 W/m<sup>2</sup>K conseguem atingir percentuais de conforto térmico acima de 71,70%, referência de conforto estabelecida pelos resultados obtidos a partir da simulação do caso-base, e mesmo assim somente para atrasos térmicos a partir de quatro horas.

Analisando a figura 52 podemos perceber a influência que a absorptância solar da cobertura possui na determinação do conforto térmico. A cobertura com os próprios limites estabelecidos pela norma, de U=2,00W/m<sup>2</sup>K e atraso térmico de 3,3h, proporciona um

conforto de, aproximadamente, 67%, quase 5% a menos que com as mesmas características térmicas porém com absorptância solar de 0,81, que é exatamente o caso-base.

Em relação aos graus-hora de desconforto os resultados são mostrados na Figura 53.

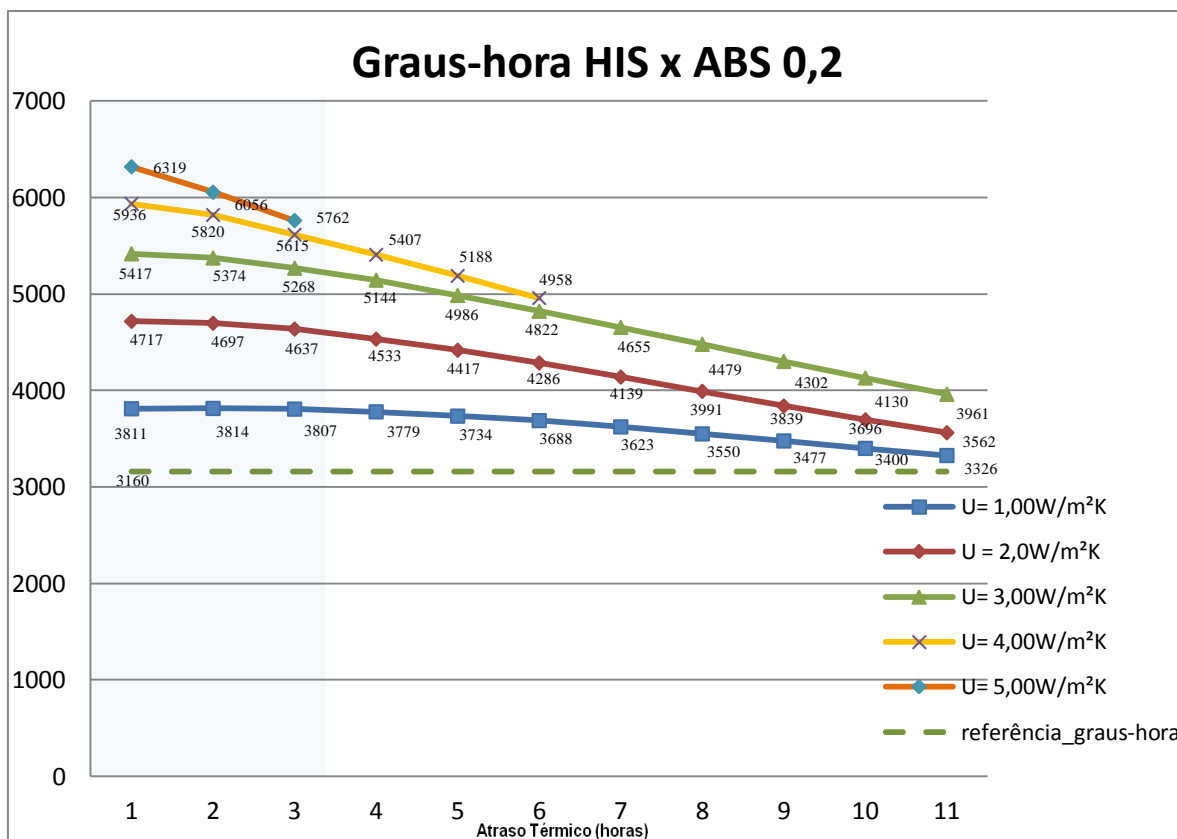


Figura 51 - Graus-hora HIS para cobertura com absorptância de 0,2

Em relação aos graus-hora de desconforto podemos observar que, em nenhum momento, mesmo com atrasos térmicos elevados, as configurações de cobertura com absorptância solar de 0,2 conseguem reduzir os valores de graus-hora de desconforto para menos que o valor de referência.

Na configuração de cobertura de  $U=1,00\text{W/m}^2\text{K}$  e atraso térmico de quatro horas, que atinge exatamente o ponto de referência de conforto, conforme demonstra a Figura 52, os graus-hora de desconforto são de 3779, muito superiores aos 3160 graus-hora do caso-base. Isto indica que, apesar de estar atingindo o mesmo percentual de horas de conforto que o caso-base, esta configuração é bem mais desconfortável naquelas horas em que não consegue atingir a temperatura base.

Os resultados de conforto para coberturas de absorptância 0,5 estão indicados na Figura 54.

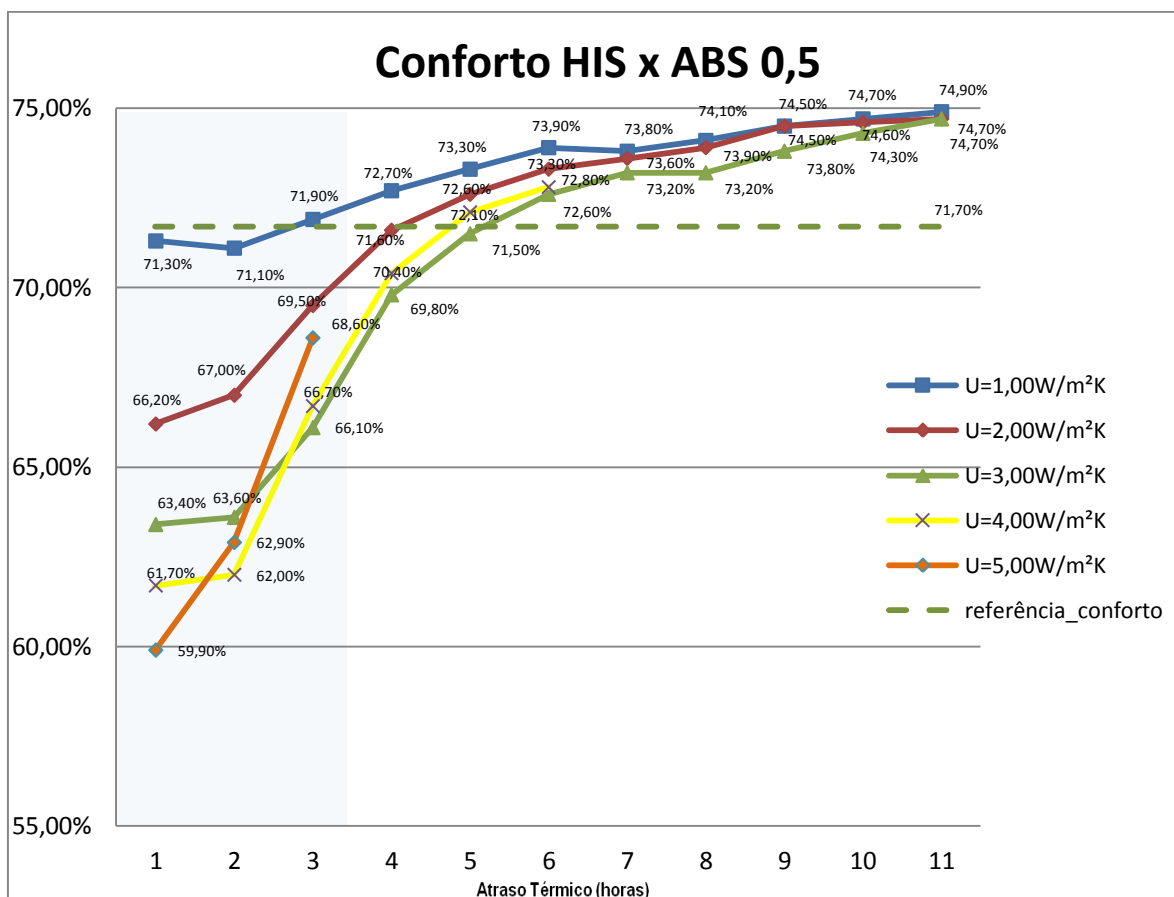


Figura 52 - Conforto HIS para cobertura com absorptância de 0,5

Quando a edificação é simulada com absorptância da cobertura de 0,5 os percentuais de conforto se elevam significativamente, sendo que, com exceção da cobertura com transmitância de 5,00W/m²K, todas as outras atingem o valor de referência, apenas com atrasos térmicos diversos, entre três e seis horas.

Podemos observar que com a absorptância de 0,5 a habitação modelada com cobertura de U=2,00W/m²K e atraso térmico um pouco superior a 4h já atinge o limite de conforto estabelecido pelo caso-base. Isto indica que a elevação do atraso térmico, para valor um pouco superior ao estabelecido pela norma, de 3,3h, compensou a diferença de absorptância entre a alternativa simulada e o caso-base.

A Figura 55 apresenta os resultados obtidos para a mesma configuração de cobertura em relação aos graus-hora de desconforto.

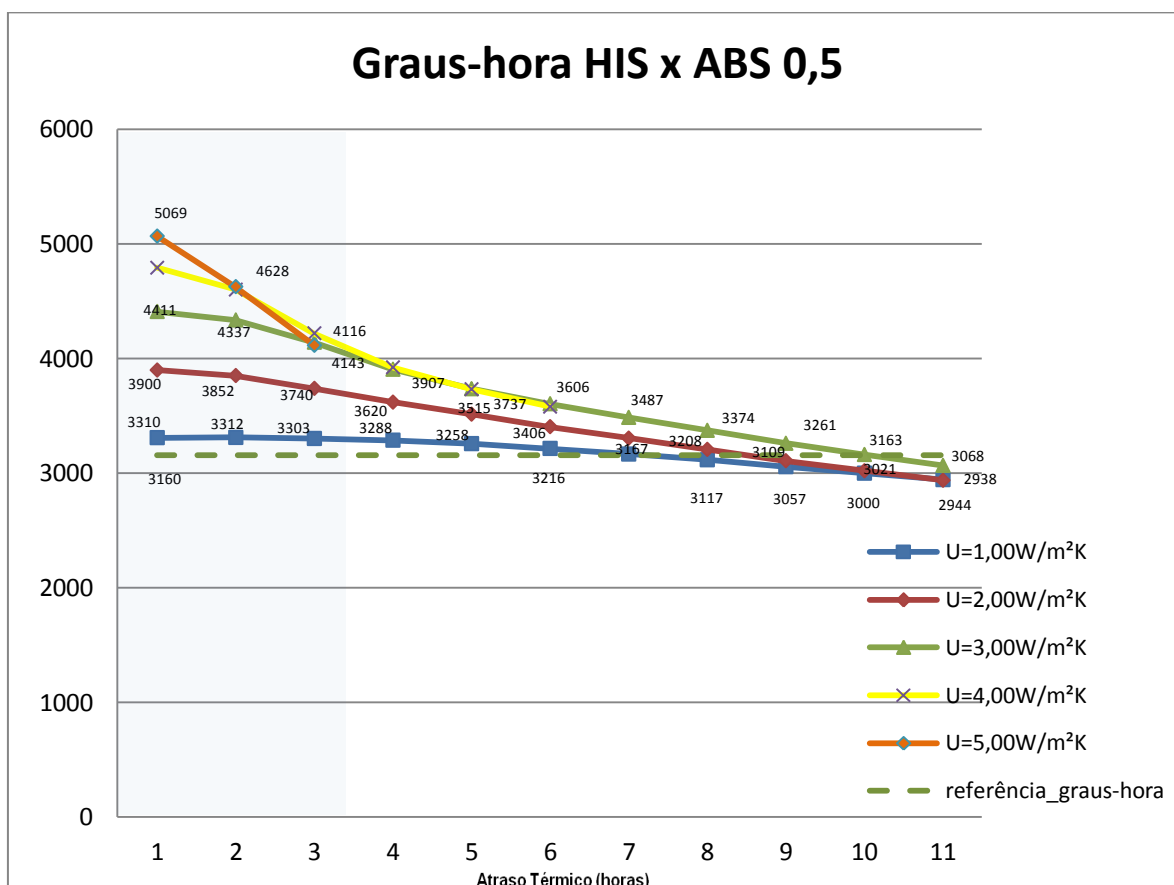


Figura 53 - Graus-hora HIS para cobertura com absorvância de 0,5

A análise da Figura 55 mostra que apenas com atraso térmico mínimo de sete horas, para configurações de transmitância térmica de 1,00W/m²K, de nove horas, para transmitância de 2,00W/m²K e de mais de dez horas, para transmitância de 3,00W/m²K, o referencial de graus-hora é obtido.

Pode-se observar também que a influência do aumento do atraso térmico é bem maior naquelas configurações de transmitância térmica mais elevada. Por exemplo, para coberturas de transmitância de 1,00W/m²K a elevação do atraso de uma para onze horas reduz o número de graus-hora de 3310 para 2944, ou seja, uma redução de 12% do valor inicial. Para esta mesma faixa de atraso térmico, coberturas de transmitância térmica de 2,00W/m²K proporcionam uma redução de 25% no valor inicial, de 3900 graus-hora. Os graus-hora para

esta configuração de transmitância e atraso de 11 horas são, inclusive, um pouco menores do que para coberturas de transmitância térmica de  $1,00\text{W/m}^2\text{K}$ .

Os percentuais de conforto térmico para coberturas de absorptância solar 0,7 estão indicados na Figura 56.

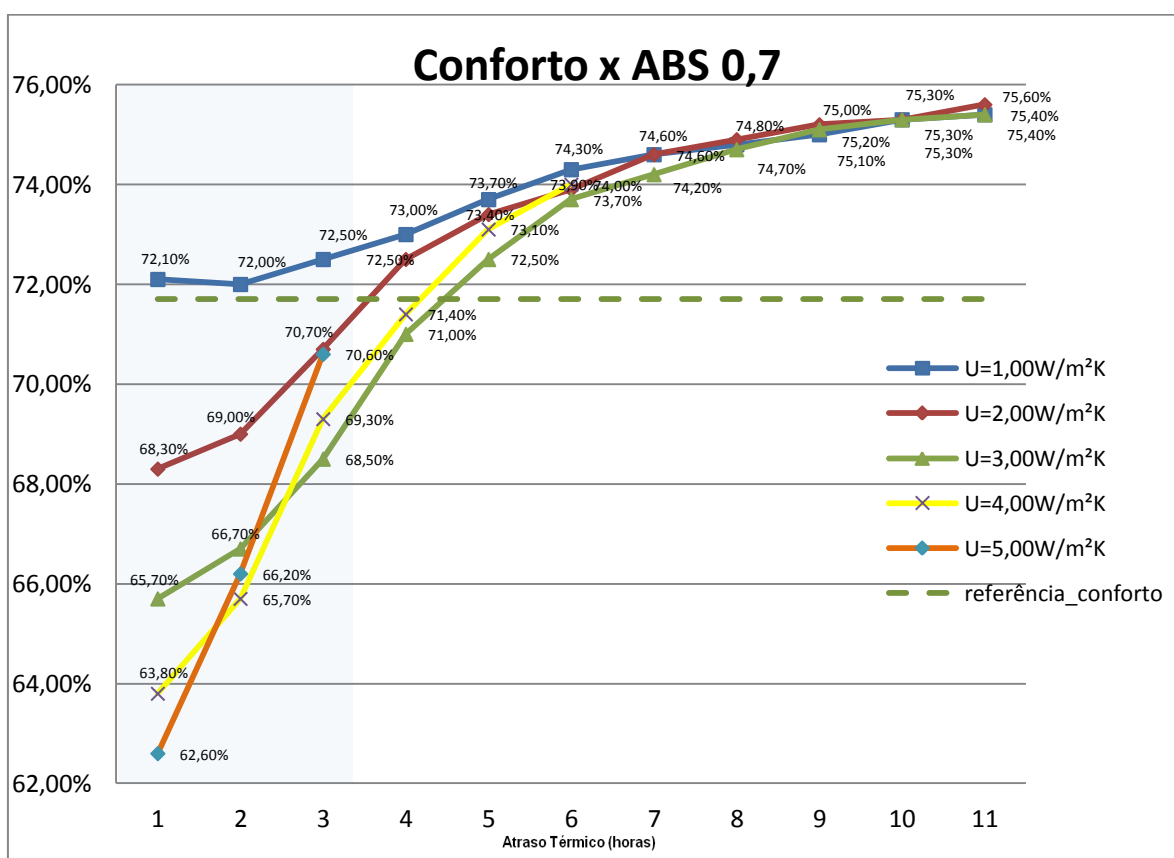


Figura 54 - Conforto HIS para cobertura com absorptância de 0,7

A tendência do gráfico de resultados de coberturas com absorptância solar de 0,7 é a mesma dos anteriores, porém é apenas nesta configuração que coberturas de transmitância térmica de  $1,00\text{W/m}^2\text{K}$  passam a proporcionar conforto sem depender do seu atraso térmico.

Além disso, em todos os casos, o cruzamento da linha de conforto de referência se dá com atrasos térmicos menores, o que significa que a pintura da cobertura com absorptâncias maiores está se mostrando mais indicada para a zona bioclimática 2.

Em relação aos graus-hora de desconforto os resultados estão indicados na Figura 57.

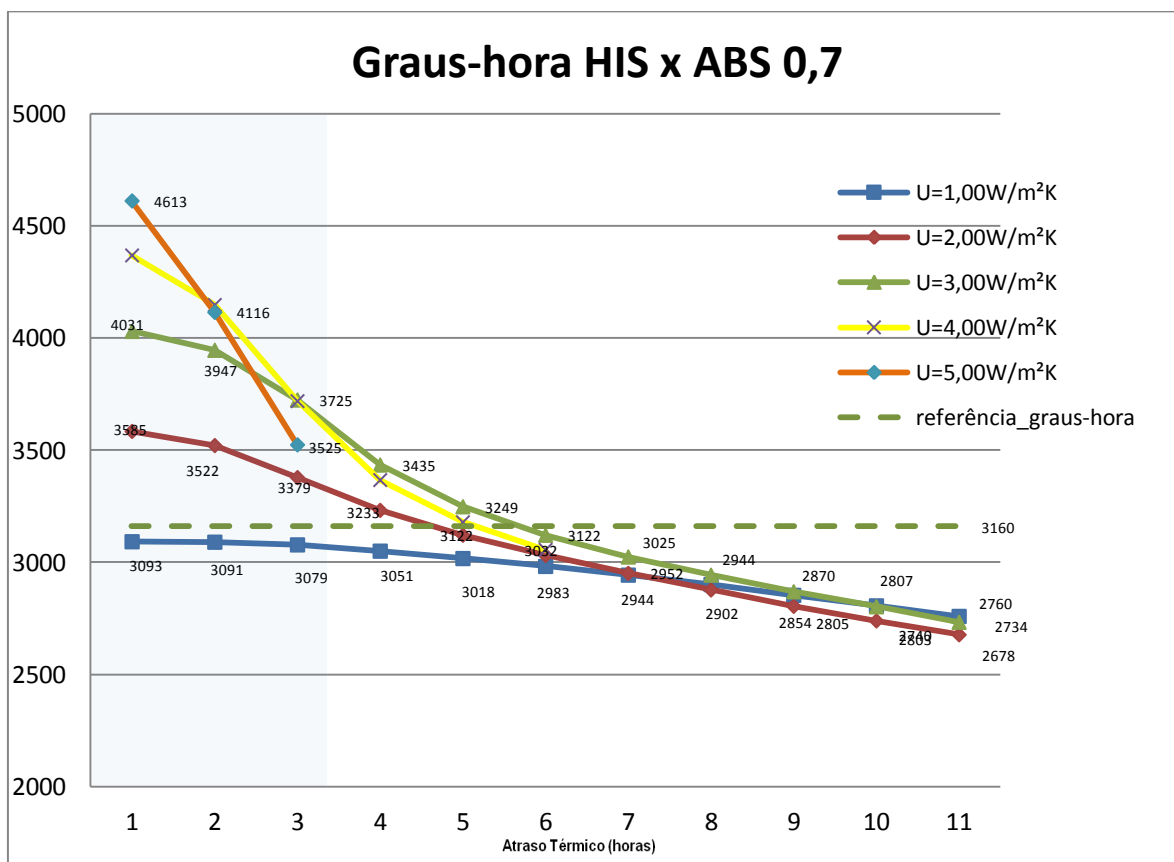


Figura 55 - Graus-hora HIS para cobertura com absorvância de 0,7

Na análise da Figura 56 podemos ver que coberturas de transmitância térmica de  $1,00\text{W/m}^2\text{K}$  produzem menos graus-hora de desconforto do que o caso-base, para qualquer valor de atraso térmico.

Nas configurações de transmitância entre  $2,00$  e  $4,00\text{W/m}^2\text{K}$  este referencial também é atingido, com atrasos térmicos situados entre quatro e seis horas.

Observa-se também que, a partir de um atraso térmico a partir de sete horas, as coberturas passam a ter valores de graus-hora de desconforto muito semelhantes, independente da sua transmitância.

Isto indica que a inércia térmica mais elevada, em coberturas pintadas com cores mais escuras, pode minimizar o efeito da transmitância térmica do fechamento. Tanto em relação ao conforto térmico quanto aos graus-hora de desconforto, coberturas com transmitância térmica de  $2,00\text{W/m}^2\text{K}$  obtiveram resultados levemente superiores a coberturas



com transmitância térmica de  $1,00\text{W/m}^2\text{K}$ , para a zona bioclimática 2, desde que com alto atraso térmico e pintada com cores de absorptância solar acima de 0,5.

Os limites indicados pela NBR 15220-3 para coberturas são de transmitância térmica de  $2,00\text{W/m}^2\text{K}$ , atraso térmico máximo de 3,3 horas e  $\text{FCS} \leq 6,5\%$ . A Tabela 32 indica a absorptância solar máxima para este FCS, em função de sua transmitância, para a zona bioclimática 2.

Tabela 32 - Absorptância solar limite em função da transmitância térmica e do FCS para a zona bioclimática 2

FCS (%)	U ( $\text{W/m}^2\text{k}$ )	$\alpha$
6,5	1	1,00
	2	0,81
	3	0,54
	4	0,41
	5	0,33

Podemos observar que, para transmitância térmica de  $1,00\text{W/m}^2\text{K}$ , não há nenhuma restrição quanto à cor da cobertura porém, a partir do aumento do valor da transmitância, o valor da absorptância solar máxima passa a diminuir, chegando a um valor de 0,33 (cores muito claras) para transmitância de  $5,00\text{W/m}^2\text{K}$ .

Mas os resultados nos indicam que o aumento da absorptância da cobertura é indicada para qualquer valor de transmitância simulada, independente dela ser indicada ou não pela norma. Mesmo coberturas com transmitâncias acima do valor limite para a zona bioclimática 2, que é de  $2,00\text{W/m}^2\text{K}$ , conseguem elevar os níveis de conforto da edificação com absorptâncias maiores.

A NBR 15575 (ABNT, 2010), que tem como referência a absorptância, e não o fator de calor solar, não propõe nenhuma limitação de seu valor para a zona bioclimática 2.












































































































































































































































































































































Além disso também podemos observar que o aumento do atraso térmico, dentro dos mesmos valores de transmitância, elevam o conforto no interior da edificação, contrariando as expectativas geradas pela análise das recomendações da NBR 15220-3, que indicam um valor máximo para o atraso térmico dos fechamentos opacos horizontais de 3,3 horas.

Pela análise dos gráficos anteriores observa-se que, até um atraso térmico de aproximadamente 6 horas, há um crescimento significativo dos índices de conforto obtidos na

habitação e, a partir daí, os valores ficam estabilizados. A NBR 15220-3 limita o atraso térmico em, no máximo, 3,3 horas, que é quando a curva de conforto térmico está ascendente, e os valores abaixo deste limite são os piores resultados.


Um resumo de quais configurações de fechamentos simulados proporcionam conforto acima do referencial estabelecido pelo caso-base e, destas, quais são indicadas ou não pela NBR 15220-3, estão representadas na Tabela 33.


Esta tabela, que resume os resultados das simulações, sua comparação com os limites de referência obtidos pela simulação do caso-base e as indicações da norma mostram poucos pontos em que os bons resultados obtidos pelas configurações são indicados pela norma. A norma, porém, indica algumas configurações de transmitância térmica de 1,00 e 2,00W/m<sup>2</sup>K com atraso térmico até 3 horas que produzem resultados ruins. A limitação do atraso térmico também elimina das recomendações outras configurações de cobertura que produzem bons resultados de conforto, assim como já havia acontecido em relação às paredes.

U (W/m²K)	1			2			3			4			5		
 (hs)															
1															
															
2															
															
3															
															
4															
															
5															
															
6															
															
7															
															
8															
															
9															
															
10															
															
11															
															


Convenções


NBR 15220-3 (recomendações)

 aprovado

 reprovado

Comparação com referencial de conforto

 acima do % conforto

 abaixo do % conforto

Absortância solar




 0,2  0,5  0,7

Tabela 33 - Resumo das configurações de cobertura simuladas

O mesmo quadro resumo, agora apenas com as configurações que estão contidas na norma, estão na Tabela 34.





































































































































U (W/m²K)	1			2			3			4			5										
 (hs)																							
1																							
																							
2							<div><p><u>Convenções</u></p><p>NBR 15220-3 (recomendações)</p><div> aprovado</div><div> reprovado</div><p><u>Comparação com referencial de conforto</u></p><div> acima do % conforto</div><div> abaixo do % conforto</div><p><u>Absortância solar</u></p><div> 0,2    0,5    0,7</div></div>																
																							
3																							
																							
4																							
																							
5																							
																							
6																							
																							
7																							
																							
8																							
																							
9																							
																							
10																							
																							
11																							
																							

Tabela 34 - Resumo das configurações de cobertura simuladas que possuem características semelhantes as da NBR 15220-3

Nesta tabela podemos ver que, das quinze configurações indicadas pela norma, de transmitância térmica 1,00 e 2,00W/m²K, apenas três produzem conforto superior ao valor de referência. Mais grave ainda é que, com a limitação do atraso térmico em 3,3 horas, outras 35 configurações que tem bons resultados não são indicadas pela norma. As recomendações da

norma somente coincidem com os resultados obtidos nas transmitâncias de valor 4,00 e 5,00W/m<sup>2</sup>K.

A análise dos resultados em relação ao dormitório dos filhos mostram a mesma tendência já observada na edificação como um todo. As Figuras 60, 61 e 62 indicam os percentuais de conforto térmico no dormitório, no período compreendido entre 21 e 8 horas da manhã, durante todo o ano, para as absortâncias da cobertura de 0,2, 0,5 e 0,7.

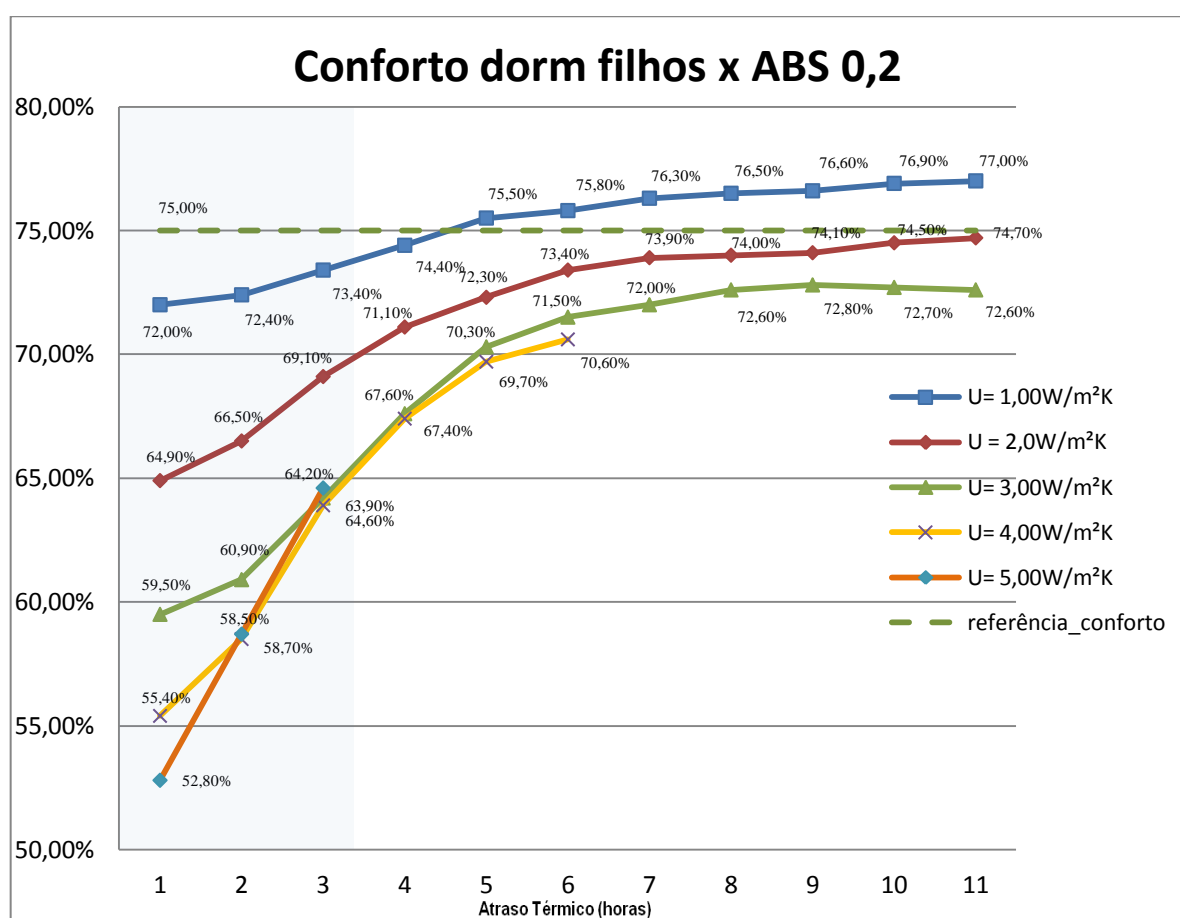


Figura 56 - Conforto dormitório dos filhos para cobertura com absortância de 0,2

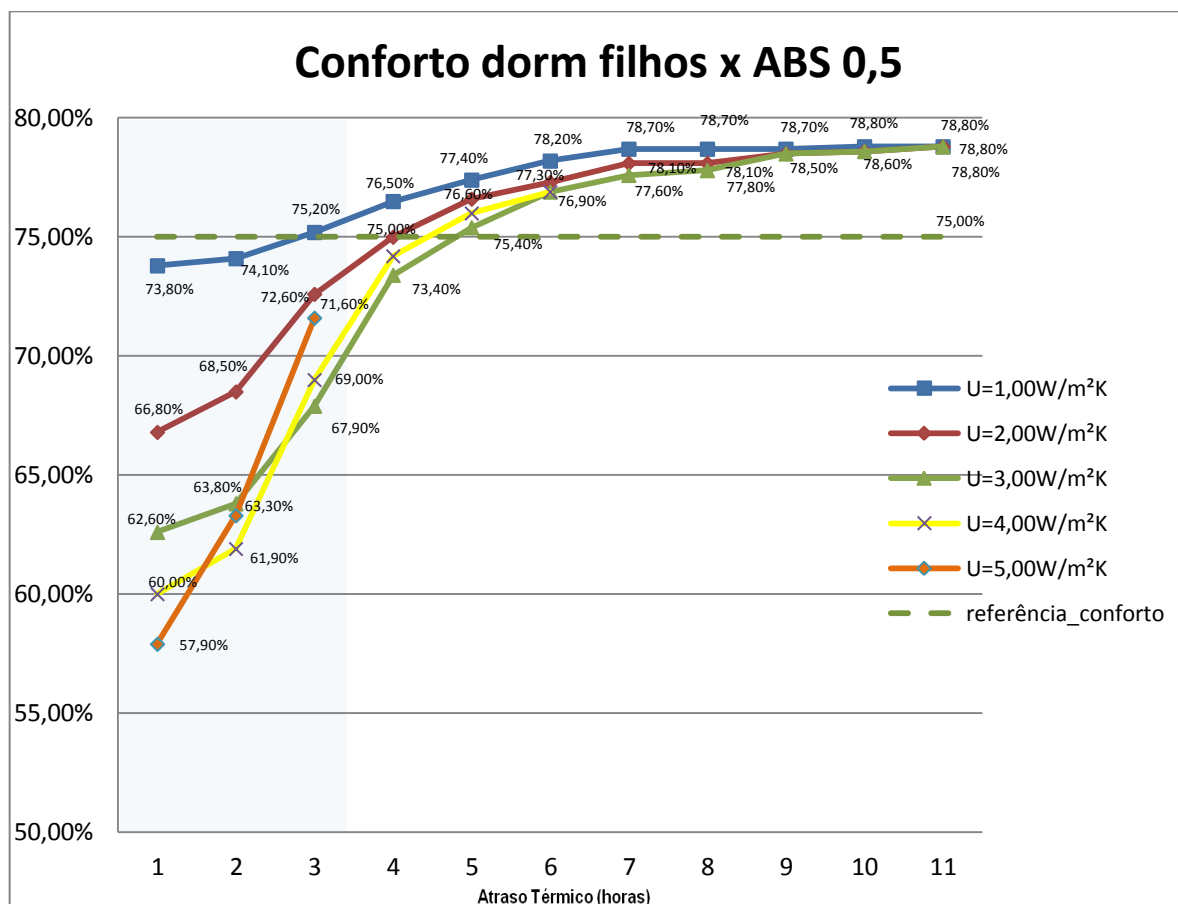


Figura 57 - Conforto dormitório dos filhos para cobertura com absorvância de 0,5

Da mesma forma que nos gráficos para a habitação como um todo, os resultados de conforto térmico para o dormitório dos filhos, apenas no período noturno, representados nas figuras 60, 61 e 62, indicam o crescimento significativo dos percentuais quando o atraso térmico é pequeno, e uma estabilização dos mesmos para atrasos térmicos superiores a sete horas, para todas as absorvâncias simuladas.

Também podemos observar que o percentual de conforto térmico aumenta com o aumento do valor do atraso térmico da cobertura, independente da absorvância solar analisada.

Há apenas uma pequena variação no ponto de cruzamento da linha de referência de conforto. No dormitório dos filhos esse valor tende a ser atingido com um atraso térmico um pouco menor do que para a habitação como um todo.

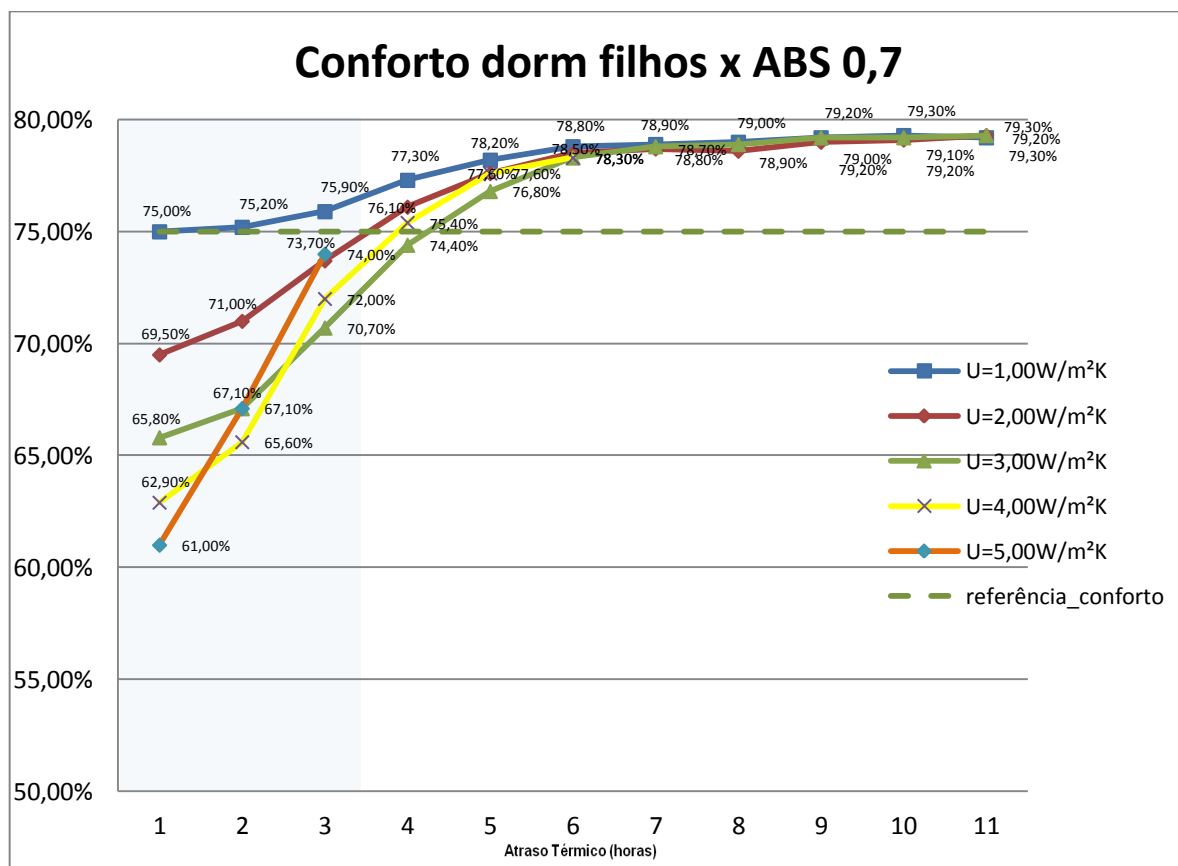


Figura 58 - Conforto dormitório dos filhos para cobertura com absorvância de 0,7

Os resultados obtidos, para o dormitório dos filhos, em relação aos graus-hora de desconforto, para coberturas com absorvâncias 0,2, 0,5 e 0,7 estão indicados nas Figuras 63, 64 e 65.

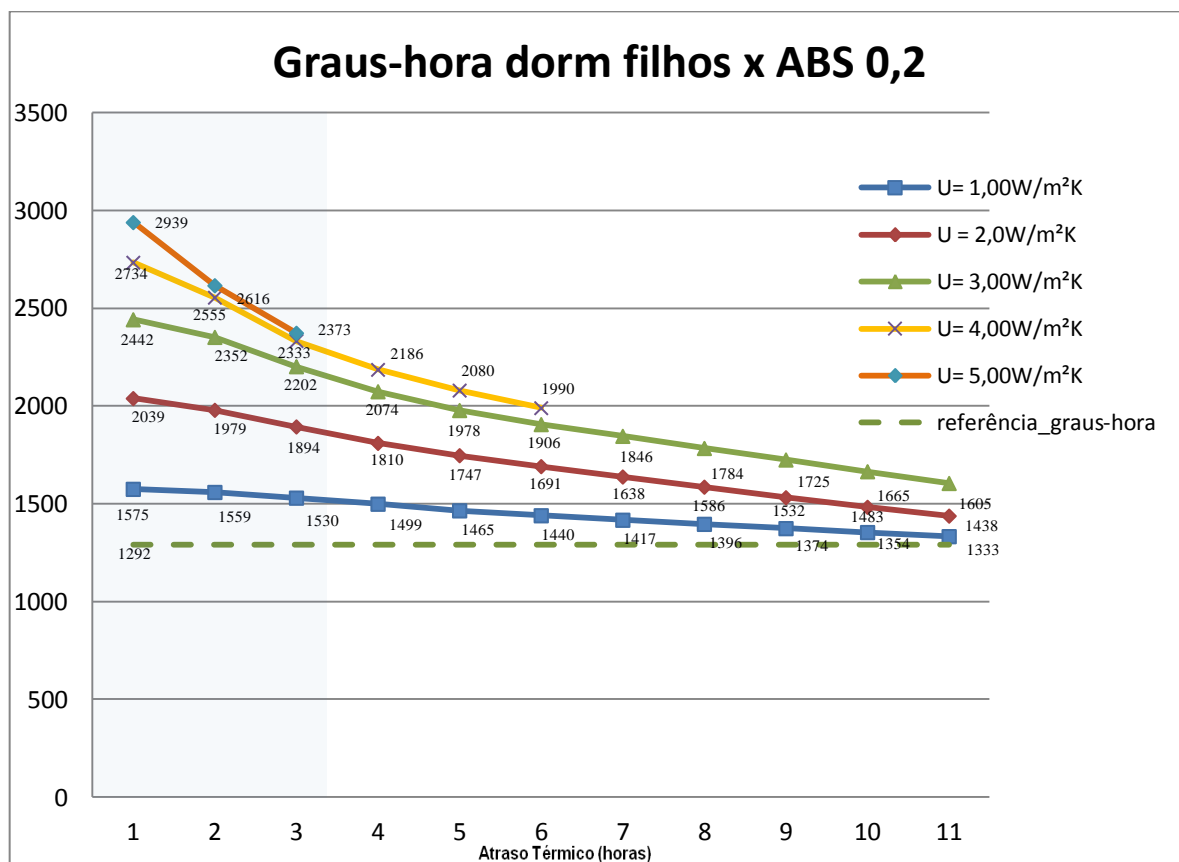


Figura 59 - Graus-hora dormitório dos filhos para cobertura com absorvância de 0,2

Os resultados para o dormitório dos filhos, analisado apenas no horário noturno, confirma o que já pudemos observar na edificação, analisada em todo o período. Em momento algum, com qualquer atraso térmico simulado, conseguimos obter número de graus-hora inferior ao valor de referência com coberturas de absorvância solar 0,2.



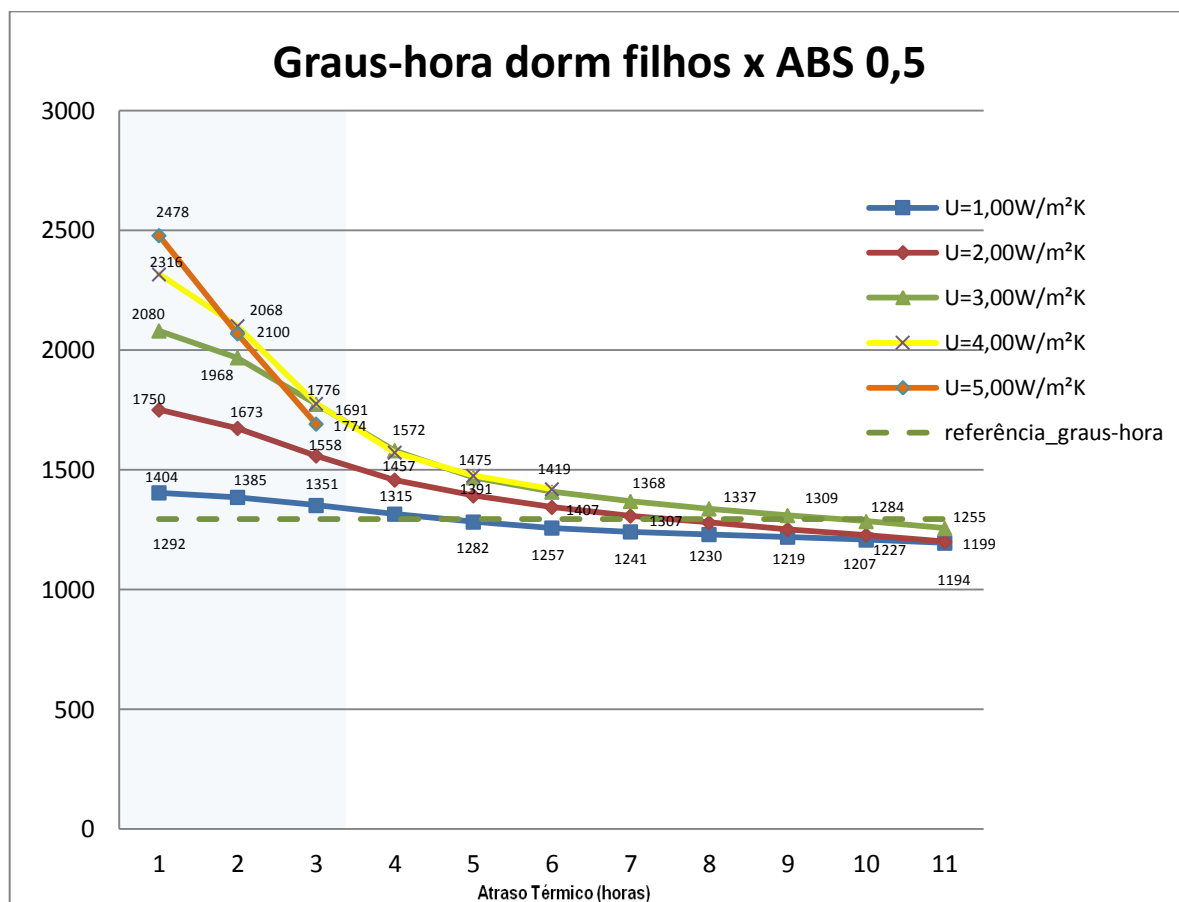


Figura 60 - Graus-hora dormitório dos filhos para cobertura com absorvância de 0,5

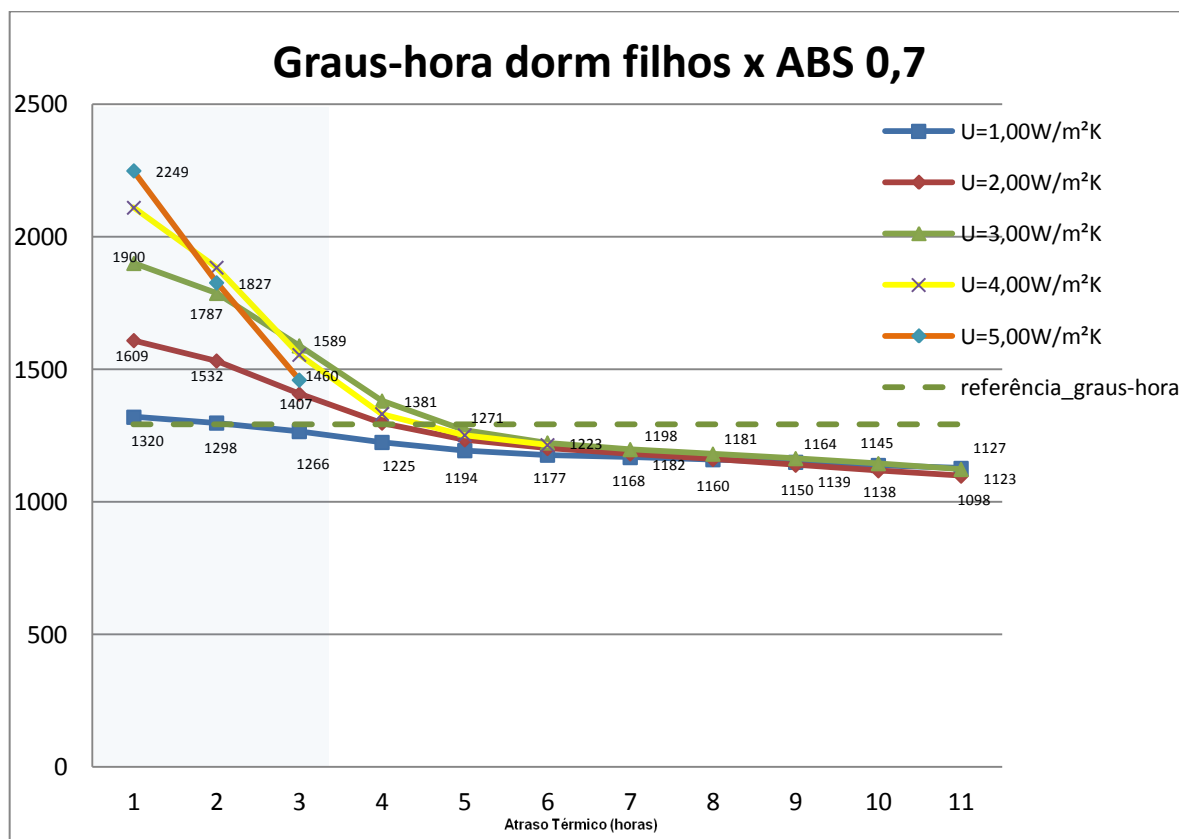


Figura 61 - Graus-hora dormitório dos filhos para cobertura com absorptância de 0,7

De qualquer forma, assim como já pudemos observar com as paredes, também os resultados obtidos pelas simulações com modificação da cobertura, indicam que a NBR 15220-3 procede de forma errada ao recomendar a limitação do atraso térmico e do fator de calor solar para a zona bioclimática 2.

Apesar do aumento do atraso térmico estar se mostrando mais benéfico para o aumento de conforto e redução dos graus-hora totais no dormitório, é interessante verificar o que está ocorrendo neste ambiente em relação as trocas térmicas dos fechamentos com as variações de absorptâncias simuladas, e a temperatura interna no ambiente.

Para esta análise foram utilizados os dias de temperatura máxima, no verão, e mínima, no período de inverno. Assim como foi feito em relação aos fechamentos verticais, as configurações que terão analisadas suas trocas térmicas em relação à cobertura, bem como a relação destas com a temperatura do ambiente são o caso-base, cobertura de transmitância de  $1,00\text{W/m}^2\text{K}$  e atraso térmico de 11 horas e outra com  $U=5,00\text{W/m}^2\text{K}$  e atraso térmico de uma

hora. A Figura 66 apresenta os resultados para o dia 26 de janeiro, e mostra que as trocas térmicas entre a cobertura com transmitância térmica de  $5,00\text{W/m}^2\text{K}$  e o ambiente são muito superiores, se comparados com o caso-base e com coberturas de transmitância  $1,00\text{W/m}^2\text{K}$ . Porém o efeito destas trocas não se reflete tão intensamente na temperatura do ar interior do dormitório como, por exemplo, acontece com as paredes. Isto porque a cobertura está na zona térmica que pertence ao quarto, mas não é ocupada. Em função disto, e como o programa permite avaliarmos a temperatura apenas da área ocupada do quarto, neste local o efeito das temperaturas junto à cobertura é minimizado, em função das trocas com o piso, com a ventilação natural, infiltração, entre outros.

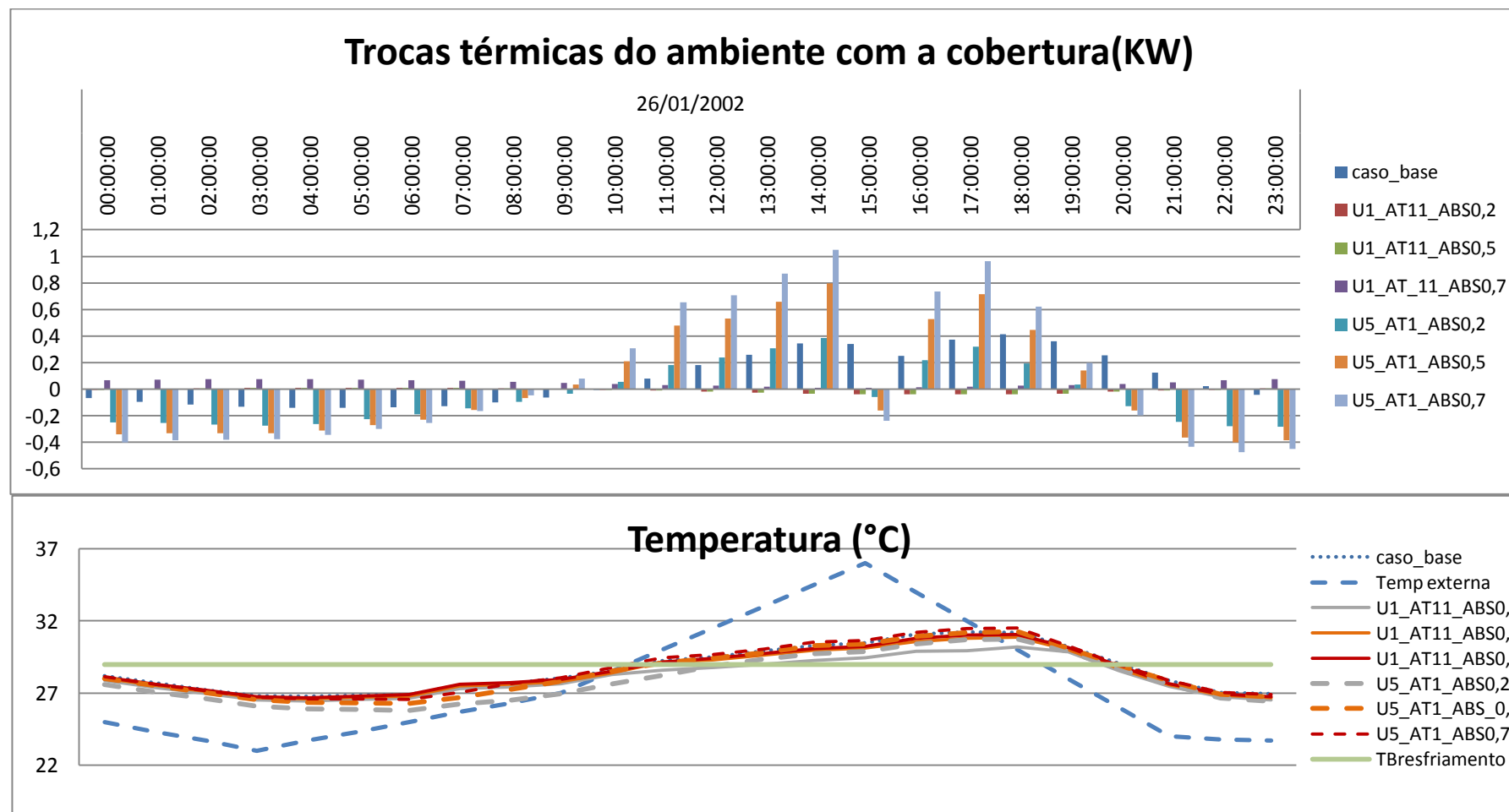


Figura 62 - Comparação entre trocas térmicas da cobertura e temperaturas internas no dormitório (verão)

A Figura 67 utiliza as mesmas transmitâncias de fechamentos horizontais para verificar a influência das trocas térmicas das coberturas externas pintadas com cores de absorptância de 0,2, 0,5 e 0,7 para o dia de inverno, que tem a temperatura mais baixa do ano de referência.

Na Figura 67 podemos observar que as trocas térmicas entre o ambiente e a cobertura de transmitância  $5,00\text{W/m}^2\text{K}$  são muito maiores do que com coberturas de transmitância menor, da mesma forma que no período de verão anteriormente analisado. Porém elas perdem muito calor à noite, reduzindo a temperatura do ar interior. Durante o dia, no período de maior radiação solar, e pela sua alta transmitância, permite mais facilmente a passagem de calor, elevando a temperatura do ambiente, até o momento em que, sem radiação solar, o fechamento passa novamente a perder calor, fruto da sua baixa resistência. Notou-se que a absorptância pouco influenciou no comportamento da temperatura interna. Durante a noite, como é de se esperar, a temperatura é idêntica para todas as absorptâncias. Durante o dia a absorptância de 0,2 proporciona um aquecimento menor do ambiente, mantendo a temperatura  $1^\circ\text{C}$  mais baixa do que as absorptâncias de 0,5 e 0,7, que não geraram diferença de temperatura interna.

A análise das trocas térmicas indica que coberturas de transmitância térmica de  $1,00\text{W/m}^2\text{K}$ , independente da absorptância solar simulada, em nenhum momento do dia analisado apresentam trocas de calor significativas. Em função disto a temperatura interna, mesmo com uma grande variação da temperatura externa, pouco se modifica, mantendo sempre a temperatura interna mais elevada. Durante a madrugada a diferença de temperatura interna para a cobertura de transmitância de  $5,00\text{W/m}^2\text{K}$  chegou a cerca de  $5^\circ\text{C}$ . Durante o dia todas as configurações tiveram o mesmo desempenho, com exceção da cobertura de  $U=5,00\text{KW/m}^2\text{K}$  e absorptância de 0,2, como já foi comentado acima.

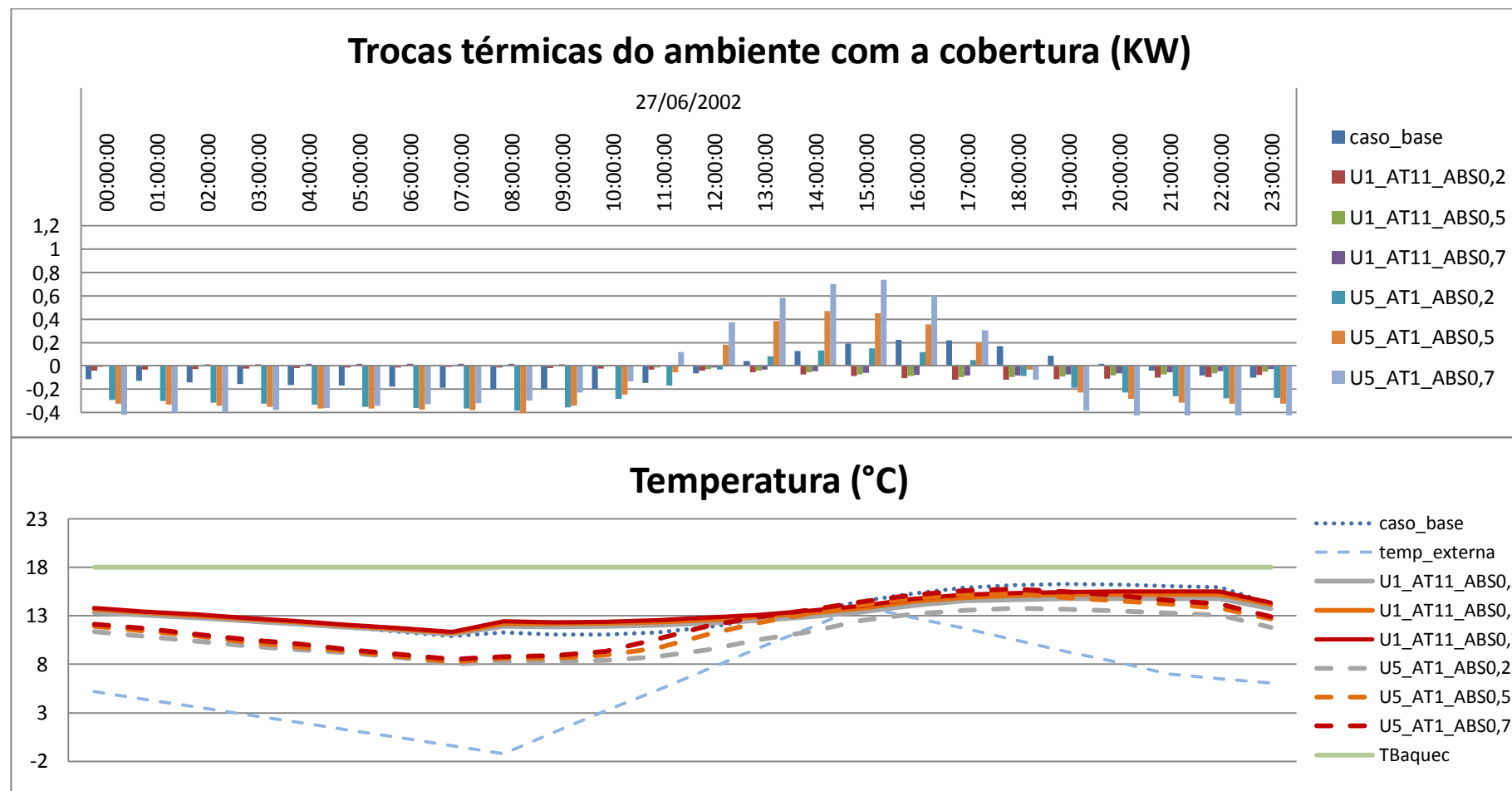


Figura 63 - Comparação entre trocas térmicas da cobertura e temperaturas internas no dormitório (inverno)

#### 4.1.2.4. Resumo das configurações de fechamentos, verticais e horizontais, indicadas em função dos resultados do trabalho

Com base nos resultados obtidos nas diversas configurações de fechamentos opacos simulados, tanto verticais quanto horizontais, e sua comparação com os níveis de referência estabelecidos a partir da simulação do caso-base, este trabalho se propôs a indicar, de forma simples, intervalos que pudessem correlacionar às características térmicas dos fechamentos opacos do envelope da edificação, o que está representado na Tabela 35.

Tabela 35 - Indicações de valores de transmitância térmica, atraso térmico e absorptância solar admissíveis para cada tipo de vedação externa, para a zona bioclimática 2

<b>Vedações Externas</b>	<b>Transmitância Térmica - U (W/(m²K))</b>	<b>Atraso Térmico - Φ (horas)</b>	<b>Absortância - α</b>
<b>Paredes</b>	$U \leq 1,5$	$\Phi \geq 3$	$\alpha \geq 0,2$
	$1,5 < U \leq 3,0$	$\Phi \geq 4$	$\alpha \geq 0,5$
<b>Cobertura</b>	$U \leq 1,5$	$\Phi \geq 4$	$\alpha \geq 0,5$
	$1,5 < U \leq 2,0$	$\Phi \geq 5$	$\alpha \geq 0,5$

Mesmo que, neste trabalho, as transmitâncias térmicas simuladas tenham sido apenas números inteiros, procurou-se, na tabela acima, extrapolar os valores para que fosse possível criar faixas de transmitâncias de forma a melhor representar os fechamentos reais. Para isso foram feitas interpolações entre os valores simulados (Apêndice I), que originaram os resultados que constam na Tabela 35.

## 5. Conclusões

Este trabalho teve, como objetivo geral avaliar as prescrições da NBR 15220 – parte 3 quanto as características dos fechamentos opacos (paredes e cobertura), buscando propor uma correlação entre as variáveis transmitância, atraso térmico e fator de calor solar para a zona bioclimática 2 brasileira.

Os fechamentos opacos, paredes e cobertura, do caso-base, foram definidos a partir dos limites das propriedades térmicas indicadas pela NBR 15220-3, para a zona bioclimática 2. Os resultados obtidos com a simulação da edificação com estas propriedades estabeleceram os referenciais de conforto térmico e de graus-hora de desconforto, com os quais as diversas configurações de envelope simuladas posteriormente foram comparadas, e possibilitaram verificar a pertinência ou não das recomendações estabelecidas na norma.

As recomendações da NBR 15220-3, principalmente as que limitam o valor do atraso térmico de paredes e coberturas, para a zona bioclimática 2, em 4,3 e 3,3 horas, respectivamente, impedem a obtenção de melhores índices de conforto térmico na edificação. Os resultados obtidos através do processo de simulação computacional apontam que o aumento do atraso térmico dos fechamentos opacos é benéfico para a elevação destes índices, além de reduzir a quantidade de graus-hora necessários para trazer a temperatura dos ambientes para a zona de conforto, estabelecida entre 18 e 29°C.

Considerando a análise dos limites propostos pela NBR 15220-3 para FSo, de 5 e 6,5% para paredes e coberturas, respectivamente, e analisando a equação do FSo, que relaciona a transmitância térmica e a absorvância solar, verifica-se que a limitação prevista pela norma apenas não interfere em fechamentos com transmitância térmica de 1,00W/m²K, visto que, neste caso, qualquer valor de absorvância solar é permitido. A partir de fechamentos



de transmitância solar de  $2,00\text{W/m}^2\text{K}$  valores maiores de absorptância não são indicados, por ultrapassarem estes limites.

A análise dos resultados ao longo do ano, porém, indica que valores de absorptância solar mais elevados produzem um percentual maior de conforto térmico nas habitações, tanto na análise da habitação nas 24 horas do dia, quanto na análise feita do dormitório durante o período da noite. Assim sendo, a limitação do fator de calor solar prevista na norma também se mostra contrária à obtenção de melhores índices de conforto na habitação. Para a situação de verão, a maior absorptância solar foi prejudicial às condições de conforto. No entanto, para a situação de inverno, que representa 65% do desconforto anual, a maior absorptância se mostrou capaz de compensar a situação de verão.

Com base nos resultados obtidos nas diversas configurações de fechamentos opacos simulados, e sua comparação com os níveis de referência estabelecidos a partir da simulação do caso-base, foram indicados intervalos que pudessem correlacionar às características térmicas dos fechamentos opacos do envelope da edificação, o que está representado na Tabela 35.

Pode-se perceber claramente que as indicações de atraso térmico obtidas no trabalho são diametralmente opostas às recomendações da NBR 15220-3, ao sugerirem atrasos térmicos mínimos, e não máximos, como a norma. Isto vem ao encontro de diversos trabalhos já referenciados anteriormente, como Matos (2007) e Grigoleti (2007) que, inclusive, indica um atraso térmico mínimo de 4 horas para paredes, como estratégia significativa para melhorar as condições de conforto no inverno.

Também pudemos verificar que, a partir de atrasos térmicos próximos a oito horas, tanto para paredes quanto para coberturas, os ganhos nos percentuais de conforto térmico são muito pequenos. Isto pode significar um limite econômico para o valor do atraso térmico, a partir do qual o custo necessário para aumentar a capacidade térmica dos fechamentos não está significando um aumento nos níveis de conforto térmico.

Outra observação relevante é que, embora os atrasos dos componentes verticais e horizontais variassem de 1h à 11hs, o atraso térmico da edificação ficou em cerca de 2h a 4hs, independente da transmitância e da cor das superfícies. Isso ocorre porque a edificação responde não a um componente isolado, mas ao conjunto de componentes em interação

bastante complexa. Os componentes, como as janelas, com baixa capacidade térmica, e as trocas de massa de ar por ventilação e infiltração alteram significativamente a expectativa de atraso térmico dos componentes isolados. Desta forma, a rigidez de fixação de valores de atraso térmico de componentes pode ser injustificada.

Em relação ao fator de calor solar os valores indicados também estão em direção oposta às recomendações da norma que, da mesma forma que com o atraso térmico, sugere valores limites máximos. A partir apenas dos três valores de absorptância simuladas, representando as cores claras, médias e escuras, verificou-se que valores maiores de absorptância solar beneficiam as habitações em seus índices de conforto térmico no inverno e ao longo do ano como um todo.

Desta forma, considera-se que o objetivo inicial do trabalho de testar as indicações da NBR 15220-3, quanto às características térmicas dos fechamentos, verificar sua pertinência para a zona bioclimática 2, e sugerir novas recomendações, foi plenamente atingido.

### 5.1. Sugestões para trabalhos futuros

Com base nos resultados obtidos a partir deste trabalho e conscientes da necessidade de revisão das recomendações da NBR 15220-3, principalmente para climas frios, sugere-se:

- Aplicação da mesma metodologia para as zonas bioclimáticas 1 e 3, que também possuem um grande percentual de desconforto por frio;
- Com o objetivo de ajustar as novas recomendações para os fechamentos que possuem transmitâncias térmicas entre os valores estudados, ampliar as simulações com valores intermediários, bem como simular a edificação com outros valores de absorptância solar.
- Aprofundar a análise do comportamento dos componentes, por estações climáticas, incluindo as intermediárias, como outono e primavera.
- Pesquisas no desenvolvimento de tintas que modifiquem sua absorptância em função da temperatura do ar externo.
- Pesquisas no desenvolvimento e uso de materiais de construção com propriedades físicas variáveis, tais como densidade e capacidade térmica.

### Referências Bibliográficas

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.220. Norma Brasileira de Desempenho Térmico de Edificações, Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. NBR 15.220. Norma Brasileira de Desempenho Térmico de Edificações, Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro:ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. NBR 15.575. Norma Brasileira de Desempenho de Edifícios habitacionais até cinco pavimentos. Rio de Janeiro:ABNT, 2012.

AKINS, R. E.; PETERKA, J. A.; CERMAK, J. E. **Average Pressure Coefficients for Rectangular Buildings. In: Fifth International Conference of Wind Engineering.** Fort Collings, CO. Proceedings... Pergamon Press, NY, 1979.

AKUTSU, M., VITTORINO, F.; **A tendência atual dos métodos de avaliação do desempenho térmico e energético de edificações.** IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. ENCAC. Anais do evento. Salvador, BA, 1997.

ALMEIDA, José E. Castro de; CABÚS, Ricardo C. **Conforto Térmico em Apartamentos de um Conjunto Habitacional em Maceió / AL.** VIII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. ENCAC. Anais do evento. Maceió, AL, 2005.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS - ASHRAE. ANSI/ASHRAE. **ASHRAE Standard 55-2010:** Atlanta, 2010.

\_\_\_\_\_. ASHRAE. **ASHRAE Handbook of Fundamentals.** Atlanta, 2009.

BARBOSA, M. J. et al. Aperfeiçoamento e Desenvolvimento de Novos Métodos **de Avaliação de Desempenho para Subsidiar a Elaboração e Revisão de Normas Técnicas**. Coletânea Habitare, Porto Alegre, v.3 - Normalização e Certificação na Construção Habitacional, capítulo 8, p. 134-173, 2003.

BARBOSA, M. J. **Uma Metodologia para Especificar e Avaliar o Desempenho Térmico de Edificações Residenciais Unifamiliares**. 1997. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

BATISTA, J. O. et al, 2005. **Avaliação de Desempenho Térmico de Componentes Construtivos Utilizando o EnergyPlus**. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. ENTAC. Anais do evento. ANTAC, pp 145-154, Maceió, 2005.

BECKER, Maria de Fátima Monteiro. **Análise do desempenho térmico de uma habitação unifamiliar térrea**. 1992. 87f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

BRAGER, G.S. and de DEAR, R., **A standard for natural ventilation**. ASHRAE Journal. V.42(10), pp. 21-27, 2000.

BRASIL. **Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001**. Dispõe sobre a política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Lex: Diário Oficial da União, Brasília, 2001. Disponível em: <<http://www81.dataprev.gov.br/sislex/paginas/42/2001/10295.htm>> Acessado em 20 de julho de 2011.

\_\_\_\_\_. **Portaria Ministério das Cidades 325 de 7 de julho de 2011**. Dispõe sobre as diretrizes gerais para aquisição e alienação de imóveis por meio da transferência de recursos ao Fundo de Arrendamento Residencial - FAR, no âmbito do Programa Nacional de Habitação Urbana - PNHU, integrante do Programa Minha Casa, Minha Vida - PMCMV Disponível em: <  
<http://www.in.gov.br/imprensa/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=76&data=08/07/2011> >  
Acessado em 09 de setembro de 2011.

CIVILIZACOESPREECOLOMBIANAS.BLOGSPOT.COM. Disponível em  
[www.trucospc.info/fundos-de-pantalla/viajes.asp](http://www.trucospc.info/fundos-de-pantalla/viajes.asp). Acessado em 02/06/2011.

de DEAR, R.; BRAGER, G.S., **Developing an adaptive model of thermal comfort and preference**. ASHRAE Trans., V.104(1a), pp. 145-167, 1998.

DESINGBUILDER. Versão 3.0.0.105. Disponível em <<http://www.designbuilder.co.uk/>>. Acesso em 10 abril 2012.

FANGER, P. O.; **Thermal Confort: analysis and applications in environmental engineering**. McGraw-Hill, New York, USA, 1972.

FARIA, Fábio M. de; UMETSU, Cristina M.; FROTA, Anésia Barros. **O Conforto Térmico nas Habitações Populares da Cidade de São Paulo**. VII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. ENCAC. Anais do evento. Curitiba, PR, 2003.

FERREIRA, Michele, 2011. Diário Popular. **De posseiros no Pontal a proprietários**. Ano 122, Nº 36, pp 2-3.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. 6ª ed. São Paulo, 2001.

GIVONI, B. Confort, climate analysis and building design guidelines. Energy and Building, vol. 18, 1992.

GOULART, S.V.G. **Dados climáticos para avaliação de desempenho térmicos de edificações em Florianópolis**. Florianópolis, UFSC, 1993. 110 p. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina, 1993.

GRIGOLETTI, G. C. **Contribuição para avaliação de desempenho higrotérmico de habitações térreas unifamiliares de interesse social para Porto Alegre - RS**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

HABITARE.. Disponível em [http://www.habitare.org.br/asp?CD\\_CONTEUDO=32](http://www.habitare.org.br/asp?CD_CONTEUDO=32). Acessado em 10/09/2011.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, RTQ-R**. Eletrobrás, 2010.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Área Territorial Oficial**. Brasil. Disponível em:

<[http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default\\_territ\\_area.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_territ_area.shtm)> acessado em 06 de setembro de 2011.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, **ISO 7730**: Moderate Thermal Environments - Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of Conditions for Thermal Comfort. Geneva, 1994.

\_\_\_\_\_. **ISO 7730**: Ergonomics of the Thermal Environment – Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort using Calculation of PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria. Geneva, 2005.

KOWALTOWSKI, Doris C. C. Knatz, GRANJA, Ariovaldo Denis, PINA, Silvia Aparecida M. Gonçalves e BARROS, Lia Affonso Ferreira. **Os Conceitos de Satisfação e Valor Desejado na Avaliação Pós-Ocupação em Habitação Social**. X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. ENCAC. Anais do evento. Natal, RN, 2009.

LABEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina. Programa Computacional Analysis Bio, Versão: 2.2. Disponível em: <[http://www.labeee.ufsc.br/software/analysis\\_BIO.html](http://www.labeee.ufsc.br/software/analysis_BIO.html)>. Acesso em maio. 2011.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2a edição. São Paulo: ProLivros, 2004.

LAMBERTS, R. et al (Ed.) **Casa Eficiente: Simulação Computacional do Desempenho Termo-Energético**. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2010. 53p.

\_\_\_\_\_. **Desempenho Térmico de Edificações. Conforto Térmico**. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2011. 42p.

LIMA, Raoni Venâncio dos Santos. **A Influência de Decisões Arquitetônicas na Eficiência Energética do Campus/UFRN, vol. 1**. Natal: UFRN. Dissertação de Mestrado. Novembro de 2007.

MARTINS, D. J.; RAU, S. L.; RECKZIEGEL, S.; FERRUGEM, A. P.; SILVA, A. C. S. B. **Ensaio sobre a Utilização da Automação de Aberturas na Simulação do Desempenho Térmico de Edificações**. X ENCAC. Anais do evento. Natal 2009.

MATOS, Michele. **Simulação Computacional do Desempenho Térmico de Residências em Florianópolis Utilizando a Ventilação Natural**. Florianópolis: UFSC. Dissertação de Mestrado. Dezembro de 2007.

MELO, Ana Paula. **Análise da influência da transmitância térmica no consumo de energia de edificações comerciais**. Florianópolis. 2007. Dissertação (mestrado em engenharia civil) Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina.

MENEZES, M. S. **Avaliação do desempenho térmico de habitações sociais de Passo Fundo - RS**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia e Arquitetura. Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo, 2006.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional 2009: Ano base 2008** / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2009. 274 p

MIZGIER, Martin Ordenes. **Etiquetagem de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Apresentação. Curso Eletrobrás. Rio de Janeiro: Outubro de 2010.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, RTQ-R**. Eletrobrás, 2010.

NASCIMENTO, Denise de S. Cerqueira; SOUZA, Heitor A. de; FERREIRA, Franciele M. Costa. **Avaliação do Desempenho Térmico do Conjunto Habitacional Ferroviários em Ipatinga, MG**. XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. ENCAC. Anais do evento. Búzios, RJ, 2011.

OLGYAY, V. **Clima y Arquitectura en Colombia**. Universidad del Valle, Facultad de Arquitectura, Cali, Colombia, 1968.

ORDENES, M.; PEDRINI, A.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Metodologia Utilizada na Elaboração da Biblioteca de Materiais e Componentes Construtivos Brasileiros para Simulações no Visualdoe-3.1**. Relatório Interno – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

PEREIRA, Cláudia Donald. **A Influência do Envelope no Desempenho Térmico de Edificações Residenciais Unifamiliares Ocupadas e Ventiladas Naturalmente.** Florianópolis: UFSC. Dissertação de Mestrado, 2009.

PNAD. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios 2009. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acessado em agosto de 2011.

RIVERO, Roberto. **Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural.** Editora da Universidade, UFRGS, 1985.

ROMERO, M. **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano.** Ed. Projeto, São Paulo, 1988. 123 pp. Ilust.

RORIZ, M.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Uma proposta de norma técnica brasileira sobre desempenho térmico de habitações populares.** In: 5º Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Fortaleza, 1999.

SANTOS, Mauro César de O. **Requisitos e Critérios para a Análise e Avaliação da Eficácia de Programas de Habitação Popular no Brasil.** Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. ENTAC. Anais do evento. Rio de Janeiro, 1995.

SCHILLER, S. DE. et al. **Relevância de “proyescos demostratovps” de bajo impacto ambiental e eficiência energética.** Curso de Diseño y Urbanismo, Centro de Investigación Habitat e Energia, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina, 2002.

SILVA, A. C. S. B. **Zoneamento Bioclimático Brasileiro para Fins de Edificação.** Dissertação de Mestrado, NORIE - UFRGS, Porto Alegre, 1994.

SILVA, A. C. S. B; GONÇALVES, M. R. F. **Avaliação de desempenho térmico de protótipo de unidade habitacional pré-moldada de placas lisas cimentícias em zona bioclimática 2 (verão).** XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. ENTAC. Anais do evento. Fortaleza, 2008.

SILVA, A. C. S. B; GONÇALVES, M. R. F. **Avaliação de desempenho térmico de protótipo de unidade habitacional pré-moldada de placas lisas cimentícias em zona bioclimática 2 (inverno).** XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. ENTAC. Anais do evento. Canela, 2010.



SINPHA. **Sistema de Informações de Posses de Eletrodomésticos e Hábitos de Consumo.** PROCEL / ELETROBRÁS. Núcleo de Estatística Computacional, PUC/Rio. Rio de Janeiro, 1999. CD-ROM.

SWAMI, M. V.; CHANDRA, S. **Correlation for pressure distribution on buildings and calculation of natural-Ventilation airflow.** ASHRAE Transactions. 1988.

SZOKOLAY, S. V. **Thermal Design of Buildings.** Raia Education Division, Austrália, 1987.

TAVARES, S. F. **Metodologia para análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras.** Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

TEMPOPREVISÃO.NET. Disponível em [http://.blogspot.com/climas\\_do\\_brasil.jpg](http://.blogspot.com/climas_do_brasil.jpg). Acessado em 17 de setembro de 2011.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS. **ZBBR 1.1 - 2004.** Programa de Pós-graduação em Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2004.

URI.BR. Disponível em <http://www.reitoria.uri.br/~vivencias/ /image042.gif>. Acessado em 18/09/2011.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Building Energy Software Tools Directory.** Disponível em: < [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools\\_directory/](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/)> acessado em 07 de setembro de 2011.

VENÂNCIO, Raoni; PEDRINI, Aldomar. **Investigando o Projeto de Envoltória: Questionário sobre Prática Arquitetônica e Desempenho Térmico.** XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. ENCAC. Anais do evento. Búzios, RJ, 2011.

VOLTANI, Eder R. LABAKI, Lucila C. **Revisão da Última Versão da Norma ISO 7730 (2005): Síntese Bibliográfica dos Trabalhos mais Relevantes.** XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. ENTAC. Anais do evento. Fortaleza, 2008.

## **Apêndices**

## Apêndice A - Estudo Piloto

O trabalho de pesquisa faz parte de um projeto que foi submetido à Chamada Pública Saneamento Ambiental e Habitação 07/2009, da FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos – Ministério da Ciência e Tecnologia), em conjunto com projetos de outras universidades que versavam sobre o mesmo tema. O mesmo foi aprovado e tem como instituição proponente a FEESC (Fundação de Ensino e Engenharia de Santa Catarina) e, como executora principal, a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). A Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) juntamente com várias outras instituições de ensino e órgãos de pesquisa, é uma co-executora do projeto.

Este projeto de pesquisa, com o título de “Simulação computacional para melhoria da eficiência energética em HIS” faz parte do sub-projeto 5: Eficiência Energética em HIS, juntamente com trabalhos da UFSC e da UFPR. Como os recursos financeiros somente começaram a ser liberados em junho de 2010 e os equipamentos e programas ainda não haviam sido adquiridos, as equipes das universidades ainda estavam em uma fase inicial do processo.

Uma das definições importantes, e que ainda não havia sido realizada, é sobre qual a tipologia e geometria da edificação que seria utilizada no processo de simulação computacional.

Para podermos começar o trabalho, sem depender desta decisão, fomos buscar uma referência conhecida e decidimos pela utilização, neste estágio inicial, da edificação indicada em pesquisa de Tavares (2006) como sendo a mais significativa para famílias com renda mensal de até três salários mínimos (área total de 63m<sup>2</sup>), que se baseou em dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD, 2007) e do Sistema de Informações de Posses de Eletrodomésticos e Hábitos de Consumo (**SINPHA, 1999**).

As características da edificação nominada como “caso-base” deste estudo-piloto, é uma casa, com uma área média de 63m<sup>2</sup> para uma família de 4 pessoas, 2 dormitórios, sala, cozinha e banheiro, conforme Figura 68. O pé direito da edificação é de 2,80m. Para a simulação termoenergética da edificação cada ambiente foi definido como uma zona térmica, ou seja, volume de ar com a mesma pressão e temperatura.

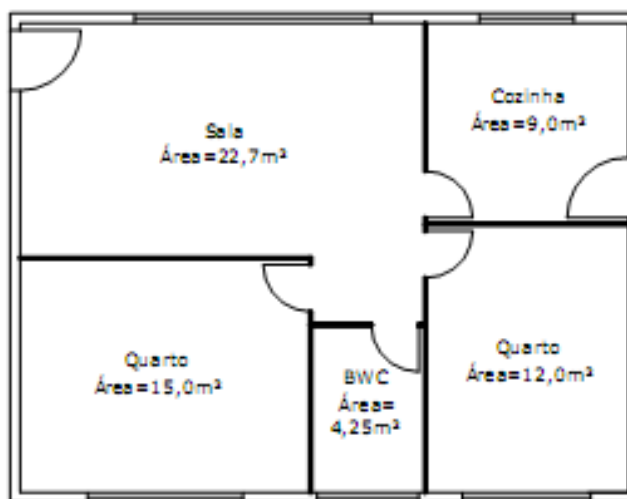


Figura 64 - Edificação caso-base

Fonte: TAVARES (2006), Figura 4.1.

Porém, em função do grande volume de recursos que está sendo disponibilizado pelo Ministério das Cidades para o Programa Minha Casa Minha Vida II, onde 60% deste total será direcionado para famílias com renda mensal de até três salários mínimos, está sendo feito levantamento para verificar qual o tipo e geometria da edificação que, no momento atual, é a mais representativa para esta faixa de renda, para utilizá-la como caso-base por todas as equipes.

#### Modelagem da edificação

Para a elaboração do estudo piloto todos os padrões de ocupação e utilização foram especificados através do RTQ-R, bem como as rotinas de abertura e fechamento de janelas e dispositivos de sombreamento são as mesmas especificados na metodologia do trabalho. Ela foi simulada para as zonas bioclimáticas 1, 2 e 3 e, a partir daí, os limites da norma NBR 15220-3 foram utilizados para determinação dos fechamentos.

Após a edificação foi simulada com uma parede dupla de tijolos furados, com características térmicas que extrapolam os valores limites da norma (atraso térmico acima de 4,3 horas) e que, portanto, não seria indicada para estas zonas.

Os resultados obtidos indicam que o conforto térmico obtido com este fechamento é superior ao que é estabelecido como limites da norma e que, portanto, o mesmo poderia ser utilizado nestas zonas, melhorando o desempenho da edificação.

Para estas simulações a cobertura foi mantida a mesma, com os limites de transmitância, atraso térmico e fator de calor solar estabelecidos pela NBR 15220-3.

#### Cálculo da espessura equivalente e da absorptância solar da parede para cada Zona Bioclimática

A definição dos fechamentos do caso-base seguiu as indicações da norma para cada zona bioclimática, em relação as características térmicas limites das vedações externas, conforme tabela C.2. da NBR 15220, parte 3.

No estudo piloto será demonstrado apenas o cálculo da parede leve e refletora, indicada para a zona bioclimática 3, em função de que os fechamentos para as zonas 1 e 2 já foram calculados anteriormente.

#### Zona Bioclimática 3

#### Parede Leve Isolada

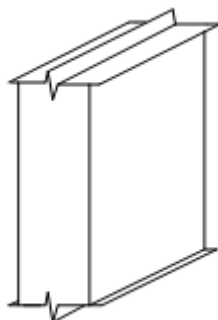


Figura 65 - Parede equivalente

#### Cálculo da espessura equivalente da parede

$$U = 3,60 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$R_T = 1/U = 0,2778$$

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se}$$

$$R_t = 0,2778 - 0,13 - 0,04$$

$$R_t = 0,1078 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_t = R_{cer}$$

$$0,1078 = \frac{e_{eq}}{0,9}$$

$$e_{eq} = 0,097\text{m} = 9,70\text{cm}$$

Cálculo da capacidade térmica da parede

$$R_t = 0,1078$$

$$\phi = 0,7284 \cdot \sqrt{R_t \cdot C_T}$$

$$4,3 = 0,7284 \sqrt{0,1078 \cdot C_T}$$

$$C_T = 323,28 \text{ KJ/m}^2\text{K}$$

Cálculo da densidade de massa aparente

$$C_T = (e \cdot c \cdot \rho)_{eq}$$

$$323,28 = 0,097 \cdot 0,92 \cdot \rho_{eq}$$

$$\rho_{eq} = 3622,59 \text{ Kg/m}^3$$

Cálculo da absorptância solar

$$FCS \leq 4,0 \%$$

$$FS = 100 \cdot U \cdot \alpha \cdot R_{ss}$$

$$4 = 100 \cdot 3,6 \cdot \alpha \cdot 0,04$$

$$\alpha = 0,278$$

ZONA BIOCLIMÁTICA	PAREDES					
	U(W/M²K)	φ (horas)	CT (KJ/KgK)	pequiv(Kg/m³)	FCS	α
1	3	4,3	296,84	1988,44	5	0,417
2	3	4,3	296,84	1988,44	5	0,417
3	3,6	4,3	323,28	3622,59	4	0,278

Figura 66 - Quadro resumo dos fechamentos verticais para as ZBs 1, 2 e 3

Cálculo da espessura equivalente e da absorptância solar da cobertura

- Zonas Bioclimáticas 1, 2 e 3

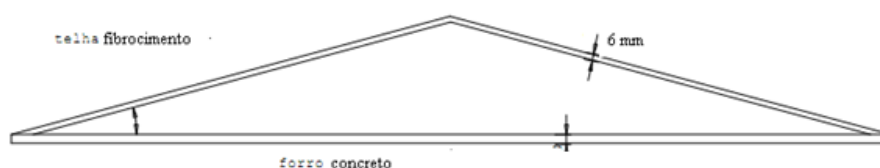


Figura 67 - Cobertura ZBs 1, 2 e 3

Cálculo da espessura equivalente da cobertura

$$U = 2,00 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$R_T = 1/U = 0,5$$

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se}$$

$$R_t = 0,5 - 0,17 - 0,04$$

$$R_t = 0,29 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_t = R_{fib} + R_{ar} + R_{conc}$$

$$0,29 = \frac{0,006}{0,95} + 0,21 + \frac{eeq}{1,75}$$

$$e_{eq} = 0,129\text{m} = 12,9\text{cm}$$

Cálculo da capacidade térmica da cobertura

$$R_t = 0,29$$

$$B_0 = C_T - C_{T_{ext}} = C_T - 0,006 \cdot 0,84 \cdot 1900 = C_T - 9,576$$

$$B_1 = \frac{(C_T - 9,576)}{0,29} \cdot 0,226 = 0,779 C_T - 7,463$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{ext}}{R_t} \right) \cdot \left( R_{ext} - \frac{R_t - R_{ext}}{10} \right)$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{0,95 \cdot 1900 \cdot 0,84}{0,29} \right) \cdot \left( (0,006 / 0,95) - \frac{0,29 - (0,006 \cdot 0,95)}{10} \right) = -23,26$$

(desconsiderar)

$$\phi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2}$$

$$6,5 = 1,382 \cdot 0,29 \cdot \sqrt{0,779 C_T - 7,463}$$

$$C_T = 347,24 \text{ KJ/m}^2\text{K}$$

Cálculo da densidade de massa aparente

$$C_T = (e.c.\rho)_{fib} + (e.c.\rho)_{eq}$$

$$347,24 = (0,006 \cdot 0,84 \cdot 1900) + 0,129 \cdot 1 \cdot \rho_{eq}$$

$$\rho_{eq} = 2617,55 \text{ Kg/m}^3$$

Cálculo da absorptância solar

$$FCS \leq 6,5 \%$$

$$FS = 100 \cdot U \cdot \alpha \cdot R_{se}$$

$$6,5 = 100 \cdot 2 \cdot \alpha \cdot 0,04$$

$$\alpha = 0,813$$

#### Alternativas de simulação

As características térmicas do fechamento vertical que foi utilizado na simulação computacional são determinadas pela norma, conforme figura 72 e, para aplicação no programa *DesignBuider*, foi utilizado o mesmo processo de cálculo da parede equivalente de Ordenes et al (2003).

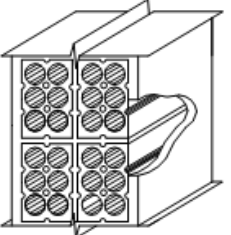
	Parede dupla de tijolos de 6 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimens. tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura arg. de assent.: 1,0 cm Espessura arg. de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 26,0 cm	1,52	248	6,5
---	---	------	-----	-----

Figura 68 - Parede dupla de tijolos furados

Fonte: ABNT, NBR 15220-3

Foram definidas duas configurações: a configuração 1 tem o mesmo limite de fator de calor solar previsto pela norma e, portanto, como sua transmitância é de 1,52m<sup>2</sup>K/W, sua absorptância será de 0,822, para as zonas bioclimáticas 1 e 2, e de 0,658 para a zona



bioclimática 3. A segunda configuração mantém a mesma absorptância do caso-base, isto é, 0,417 para as zonas bioclimáticas 1 e 2 e de 0,278 para a zona bioclimática 3.

### Resultados do estudo-piloto

Os resultados do processo de simulação mostraram que, para todas as zonas bioclimáticas analisadas, através da aplicação do programa Analysis-Bio, os percentuais de conforto térmico obtido foram superiores na parede dupla de tijolos furados, para as duas configurações simuladas. Além disso, o número total de graus-hora foi significativamente menor na parede dupla de tijolos furados, o que comprova que, nesta configuração, o consumo de energia necessário para trazer a temperatura para a zona de conforto será reduzido em relação ao caso-base.

Também foram analisados os dados dos dormitórios, durante o período noturno, entre as nove da noite e oito horas da manhã, quando a ocupação é de 100%. Os resultados mostraram que, apenas para a zona bioclimática 1, houve um pequeno desconforto por calor maior nos dormitórios para as configurações com parede dupla, mas não significativo. Porém o percentual de horas em conforto foi bem maior neste tipo de parede.

Os dados obtidos no processo de simulação, através da aplicação do programa Analysis-Bio, para as zonas bioclimáticas 1, 2 e 3, estão representados nas figuras 73 à 78.

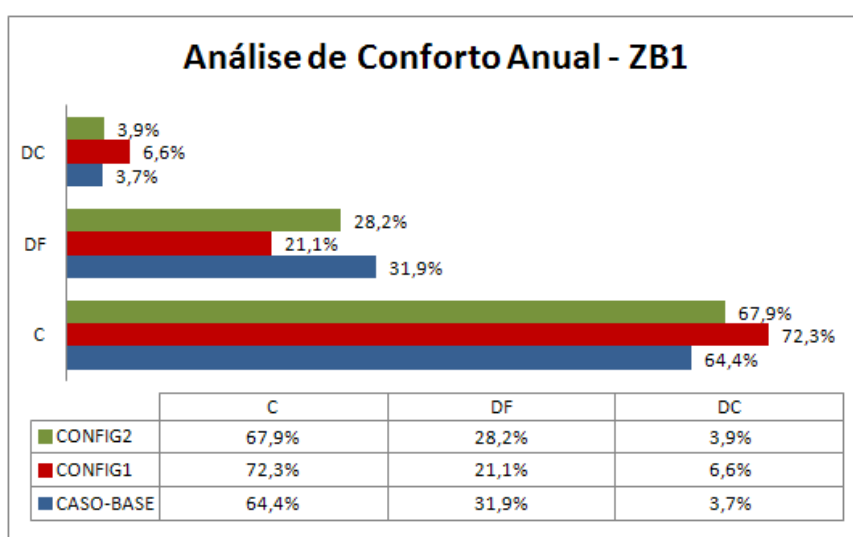


Figura 69 - Conforto Térmico Anual ZB1

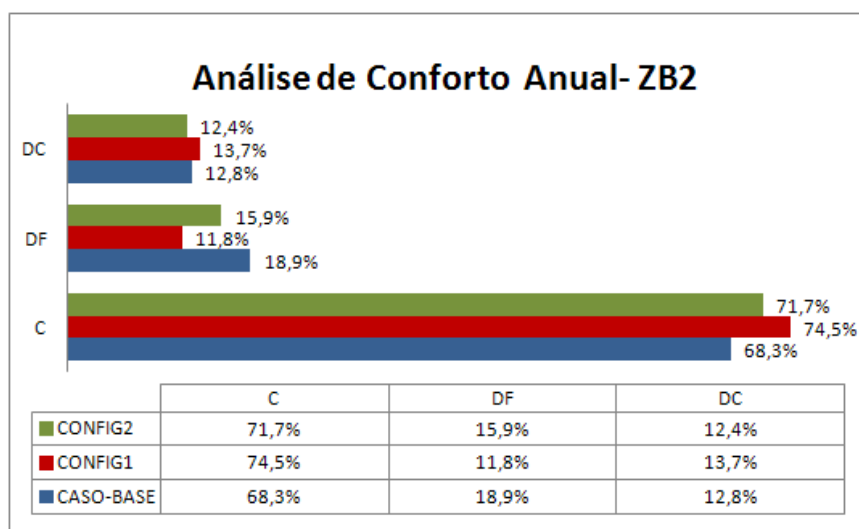


Figura 70 - Conforto Térmico Anual ZB2

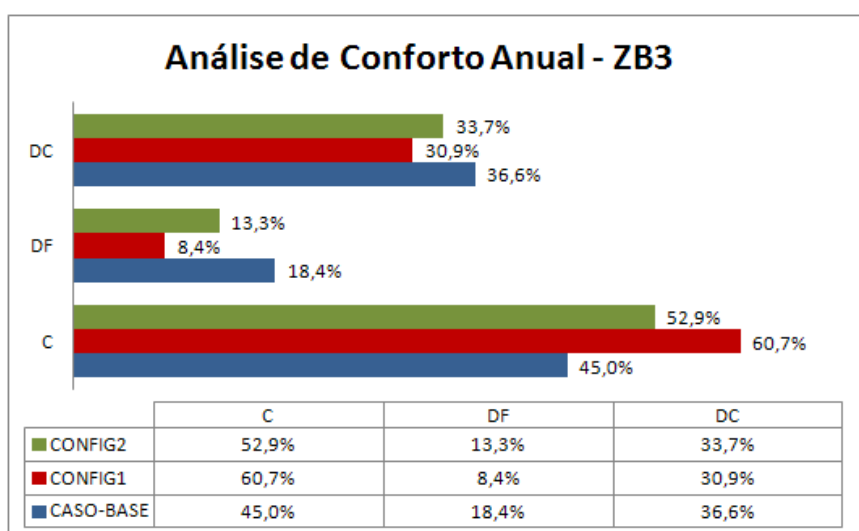


Figura 71 - Conforto Térmico Anual ZB3

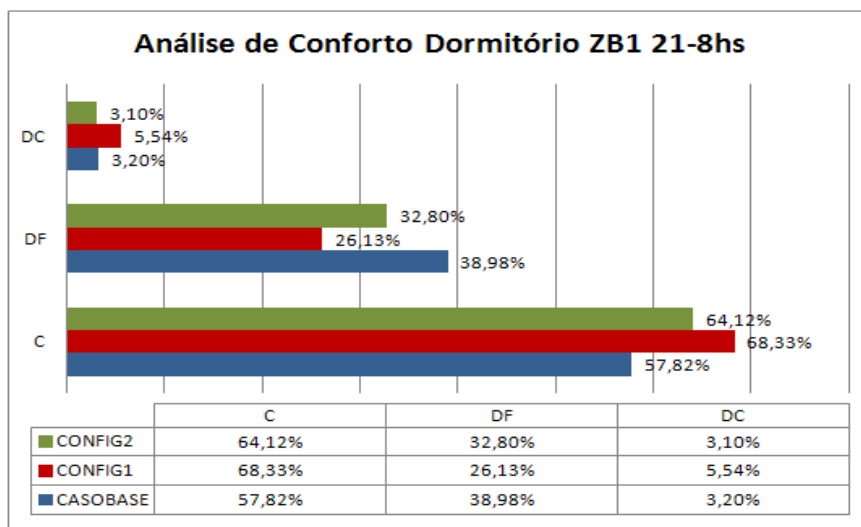


Figura 72 - Conforto Térmico Dormitórios ZB1 21-8hs

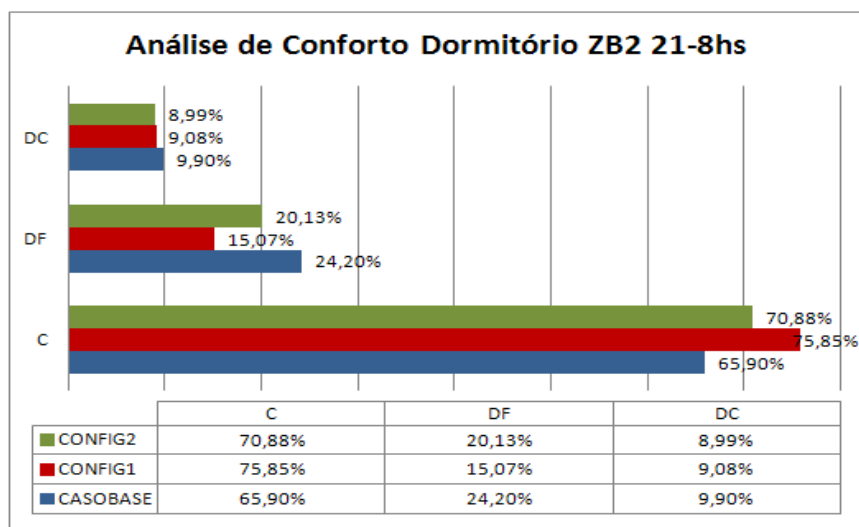


Figura 73 - Conforto Térmico Dormitórios ZB2 - 21-8hs

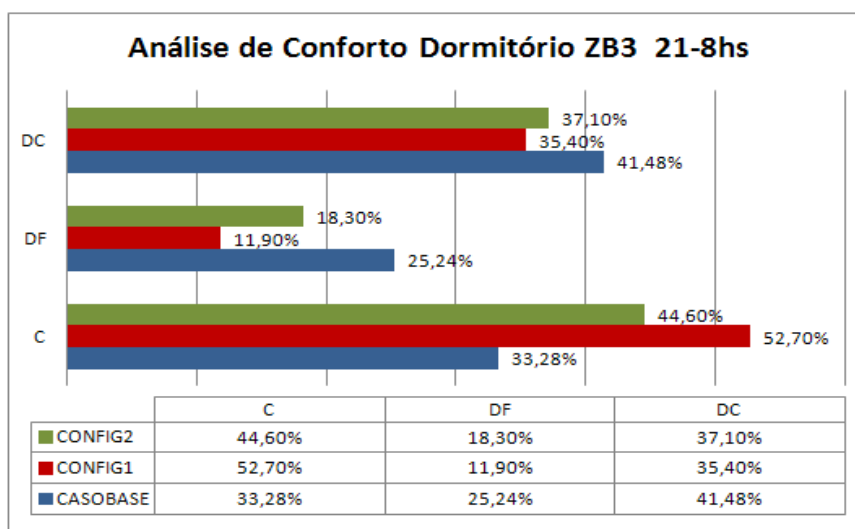


Figura 74 - Conforto Térmico Dormitórios ZB3 21-8hs

Em relação à análise através dos graus-hora de refrigeração e de aquecimento, que se relacionam as horas de desconforto por calor e por frio, respectivamente, os dados estão representados nas figuras 79 à 84.

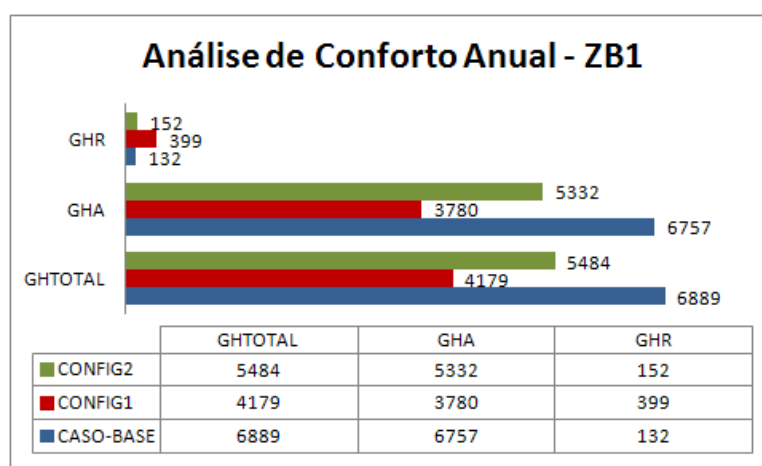


Figura 75 - Análise através dos Graus-Hora 24hs para ZB1

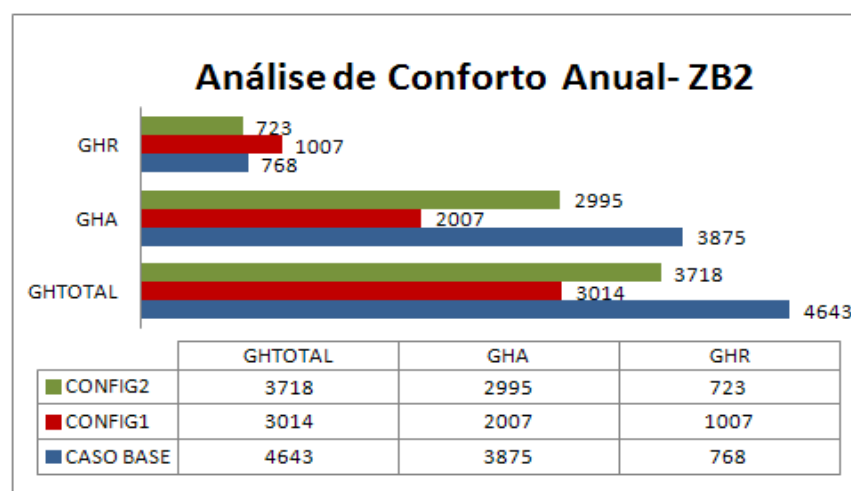


Figura 76 - Análise através dos Graus-Hora 24hs para ZB2

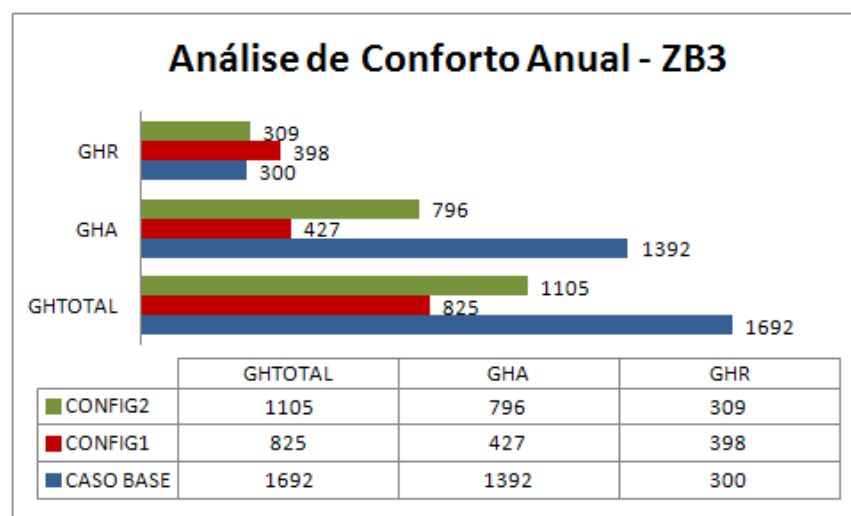


Figura 77 - Análise através dos Graus-Hora 24hs para ZB3

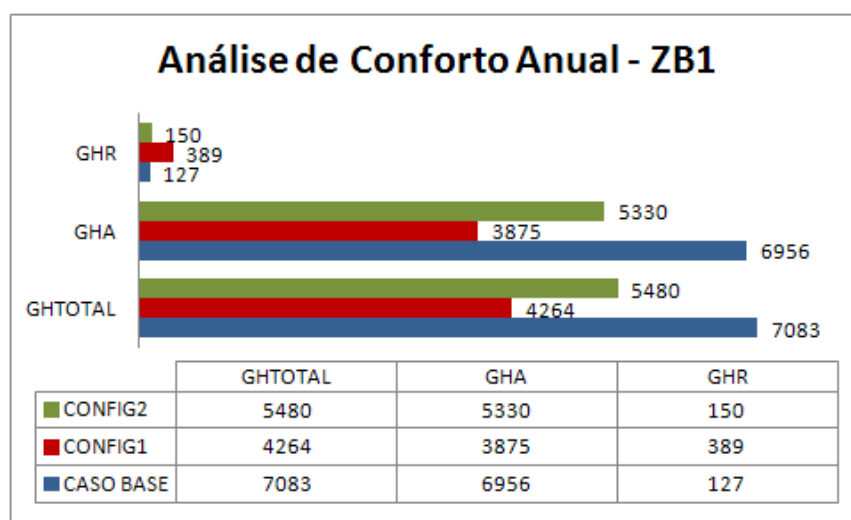


Figura 78 - Análise através de Graus-Hora Dormitório 21-8hs ZB1

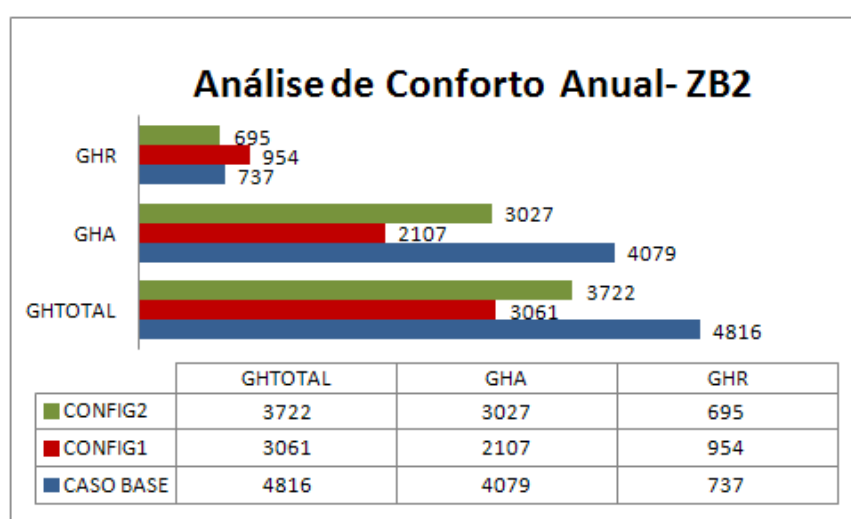


Figura 79 - Análise através de Graus-Hora Dormitório 21-8hs ZB2

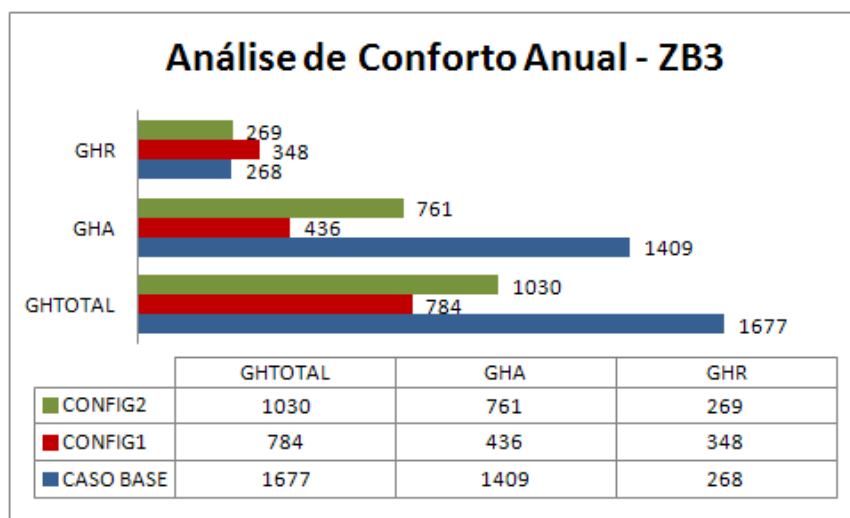


Figura 80 - Análise através de Graus-Hora Dormitório 21-8hs ZB3

Os resultados indicam um desempenho superior, em todas as zonas bioclimáticas, da parede dupla de tijolos furados, na configuração 1. A única diferença entre as configurações 1 e 2 é a cor da pintura do fechamento vertical. A configuração 1 utilizou o fator de calor solar da norma e, portanto, foi pintada de uma cor com absorvência maior. A configuração 2 manteve a cor de pintura do fechamento vertical do caso-base. Até por isso, em relação aos graus-hora de refrigeração, os seus valores são maiores, pois a absorvência solar é maior na configuração 1. Porém a diferença não é significativa e amplamente compensada pela quantidade menor de graus-hora necessários para aquecimento.

Em função dos resultados obtidos através do estudo-piloto podemos dizer que as indicações da norma não se confirmam, e que os limites das características térmicas dos fechamentos ali indicados devem ser revistos.





Transmit.	Atraso Tér.	Absortância	F. Calor Solar	Capac. Tér.	Material	Condutivid.	Calor Especif.	Esp. Equiv.	Dens. Massa Apar.
U	φ [horas]	α	FCS	C [kJ/m².K]		λ [W/(m.K)]	c [J/(kg.K)]	E <sub>eq</sub> [m]	ρ [kg/m³]
3 W/(m².K)	1	0,2	2,4	11,5	Bloco Cerâmico	0,9	0,92	0,147	85,3
		0,5	6,0						
		0,7	8,4						
	2	0,2	2,4	46,2					341,3
		0,5	6,0						
		0,7	8,4						
	3	0,2	2,4	103,9					767,9
		0,5	6,0						
		0,7	8,4						
	4	0,2	2,4	184,6					1365,2
		0,5	6,0						
		0,7	8,4						
	5	0,2	2,4	288,5					2133,1
		0,5	6,0						
		0,7	8,4						
6	0,2	2,4	415,4	3071,7					
	0,5	6,0							
	0,7	8,4							
Transmit.	Atraso Tér.	Absortância	F. Calor Solar	Capac. Tér.	Material	Condutivid.	Calor Especif.	Esp. Equiv.	Dens. Massa Apar.
U	φ [horas]	α	FCS	C [kJ/m².K]		λ [W/(m.K)]	c [J/(kg.K)]	E <sub>eq</sub> [m]	ρ [kg/m³]
4 W/(m².K)	1	0,2	3,2	23,6	Bloco de Concreto	1,75	1,00	0,140	168,3
		0,5	8,0						
		0,7	11,2						
	2	0,2	3,2	94,2					673,1
		0,5	8,0						
		0,7	11,2						
	3	0,2	3,2	212,0					1514,6
		0,5	8,0						
		0,7	11,2						
	4	0,2	3,2	377,0					2692,5
		0,5	8,0						
		0,7	11,2						
Transmit.	Atraso Tér.	Absortância	F. Calor Solar	Capac. Tér.	Material	Condutivid.	Calor Especif.	Esp. Equiv.	Dens. Massa Apar.
U	φ [horas]	α	FCS	C [kJ/m².K]		λ [W/(m.K)]	c [J/(kg.K)]	E <sub>eq</sub> [m]	ρ [kg/m³]
5 W/(m².K)	1	0,2	4,0	62,8	Bloco de Concreto	1,75	1,00	0,053	1196,7
		0,5	10,0						
		0,7	14,0						

Apêndice C - Características físicas e térmicas dos fechamentos opacos verticais equivalentes com câmara de ar

Transmit. U	Atraso Térm. $\phi$ [horas]	Absortância $\alpha$	F. Calor Solar FCS	Capac. Térm. C [kJ/m <sup>2</sup> .K]	Camadas	Condutivid. $\lambda$ [W/(m.K)]	Calor Específ. c [J/(kg.K)]	Esp. Equiv. E <sub>eq</sub> [m]	Dens. M Apar. $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
1 W/(m <sup>2</sup> .K)	5	0,2	0,8	119,8	Argamassa	1,15	1,00	0,025	2000
		0,5	2,0		Bloco Cerâmico	0,90	0,92	0,282	38,1
		0,7	2,8		Camada de Ar	-	-	0,03	-
					Bloco Cerâmico	0,90	0,92	0,282	38,1
					Argamassa	1,15	1,00	0,025	2000
	6	0,2	0,8	150,5	Argamassa	1,15	1,00	0,025	2000
		0,5	2,0		Bloco Cerâmico	0,90	0,92	0,282	97,3
		0,7	2,8		Camada de Ar	-	-	0,03	-
					Bloco Cerâmico	0,90	0,92	0,282	97,3
					Argamassa	1,15	1,00	0,025	2000
	7	0,2	0,8	186,8	Argamassa	1,15	1,00	0,025	2000
		0,5	2,0		Bloco Cerâmico	0,90	0,92	0,282	167,3
		0,7	2,8		Camada de Ar	-	-	0,03	-
					Bloco Cerâmico	0,90	0,92	0,282	167,3
					Argamassa	1,15	1,00	0,025	2000
	8	0,2	0,8	228,6	Argamassa	1,15	1,00	0,025	2000
		0,5	2,0		Bloco Cerâmico	0,90	0,92	0,282	248,0
		0,7	2,8		Camada de Ar	-	-	0,03	-
					Bloco Cerâmico	0,90	0,92	0,282	248,0
					Argamassa	1,15	1,00	0,025	2000
	9	0,2	0,8	276,1	Argamassa	1,15	1,00	0,025	2000
		0,5	2,0		Bloco Cerâmico	0,90	0,92	0,282	339,4
		0,7	2,8		Camada de Ar	-	-	0,03	-
					Bloco Cerâmico	0,90	0,92	0,282	339,4
					Argamassa	1,15	1,00	0,025	2000
	10	0,2	0,8	329,1	Argamassa	1,15	1,00	0,025	2000
		0,5	2,0		Bloco Cerâmico	0,90	0,92	0,282	441,7
		0,7	2,8		Camada de Ar	-	-	0,03	-
					Bloco Cerâmico	0,90	0,92	0,282	441,7
					Argamassa	1,15	1,00	0,025	2000
	11	0,2	0,8	387,7	Argamassa	1,15	1,00	0,025	2000
		0,5	2,0		Bloco Cerâmico	0,90	0,92	0,282	554,7
		0,7	2,8		Camada de Ar	-	-	0,03	-
					Bloco Cerâmico	0,90	0,92	0,282	554,7
					Argamassa	1,15	1,00	0,025	2000,0

Transmit. U	Atraso Térm. $\phi$ [horas]	Absortância $\alpha$	F. Calor Solar FCS	Capac. Térm. C [kJ/m <sup>2</sup> K]	Camadas	Condutivid. $\lambda$ [W/(m.K)]	Calor Específ. c [J/(kg.K)]	Esp. Equiv. E <sub>eq</sub> [m]	Dens. M Apar. $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
2 W/(m <sup>2</sup> .K)	3	0,2	1,6	113,2	Argamassa	1,15	1,00	0,025	2000
		0,5	4,0		Bloco Cerâmico	0,9	0,92	0,282	125,8
		0,7	5,6		Camada de Ar	-	-	0,03	-
					Bloco Cerâmico	0,9	0,92	0,282	125,8
					Argamassa	1,15	1	0,025	2000
	4	0,2	1,6	162,3	Argamassa	1,15	1	0,025	2000
		0,5	4,0		Bloco Cerâmico	0,9	0,92	0,282	594,9
		0,7	5,6		Camada de Ar	-	-	0,03	-
					Bloco Cerâmico	0,9	0,92	0,282	594,9
					Argamassa	1,15	1	0,025	2000
	5	0,2	1,6	225,5	Argamassa	1,15	1	0,025	2000
		0,5	4,0		Bloco Cerâmico	0,9	0,92	0,282	1196,1
		0,7	5,6		Camada de Ar	-	-	0,03	-
					Bloco Cerâmico	0,9	0,92	0,282	1196,1
					Argamassa	1,15	1	0,025	2000
	6	0,2	1,6	302,7	Argamassa	1,15	1	0,025	2000
		0,5	4,0		Bloco Cerâmico	0,9	0,92	0,282	1935,2
		0,7	5,6		Camada de Ar	-	-	0,03	-
					Bloco Cerâmico	0,9	0,92	0,282	1935,2
					Argamassa	1,15	1	0,025	2000
	7	0,2	1,6	394,0	Argamassa	1,15	1	0,025	2000
		0,5	4,0		Bloco Cerâmico	0,9	0,92	0,282	2806,4
		0,7	5,6		Camada de Ar	-	-	0,03	-
					Bloco Cerâmico	0,9	0,92	0,282	2806,4
					Argamassa	1,15	1	0,025	2000
	8	0,2	1,6	499,3	Argamassa	1,15	1	0,025	2000
		0,5	4,0		Bloco Cerâmico	0,9	0,92	0,282	3811,6
		0,7	5,6		Camada de Ar	-	-	0,03	-
					Bloco Cerâmico	0,9	0,92	0,282	3811,6
					Argamassa	1,15	1	0,025	2000,0

Apêndice D - Características físicas e térmicas dos fechamentos opacos horizontais equivalentes sem câmara de ar

Transmit.	Atraso Térm.	Absortância	F. Calor Solar	Capac. Térm.	Material	Conductivid.	Calor Específ.	Esp. Equiv.	Dens. Massa Apar.
U	ϕ [horas]	α	FCS	C [kJ/m².K]		λ [W/(m.K)]	c [J/(kg.K)]	E <sub>eq</sub> [m]	ρ [kg/m³]
3 W/(m².K)	1	0,2	2,4	9,7	Laje de Concreto	1,75	1,00	0,338	28,8
		0,5	6,0						
		0,7	8,4						
	2	0,2	2,4	39,0					115,3
		0,5	6,0						
		0,7	8,4						
	3	0,2	2,4	87,7					259,3
		0,5	6,0						
		0,7	8,4						
	4	0,2	2,4	156,0					461,0
		0,5	6,0						
		0,7	8,4						
	5	0,2	2,4	243,7					420,4
		0,5	6,0						
		0,7	8,4						
	6	0,2	2,4	351,0					1037,3
		0,5	6,0						
		0,7	8,4						
	7	0,2	2,4	477,7					1411,9
		0,5	6,0						
		0,7	8,4						
	8	0,2	2,4	623,9					1844,1
		0,5	6,0						
		0,7	8,4						
	9	0,2	2,4	789,7					2334,0
		0,5	6,0						
		0,7	8,4						
	10	0,2	2,4	974,9					2881,4
		0,5	6,0						
		0,7	8,4						
11	0,2	2,4	1179,6	3486,5					
	0,5	6,0							
	0,7	8,4							


Transmit.	Atraso Térm.	Absortância	F. Calor Solar	Capac. Térm.	Material	Conductivid.	Calor Específ.	Esp. Equiv.	Dens. Massa Apar.
U	ϕ [horas]	α	FCS	C [kJ/m².K]		λ [W/(m.K)]	c [J/(kg.K)]	E <sub>eq</sub> [m]	ρ [kg/m³]
4 W/(m².K)	1	0,2	3,2	17,1	Laje de Concreto	1,75	1,00	0,1925	89,0
		0,5	8,0						
		0,7	11,2						
	2	0,2	3,2	68,5					356,0
		0,5	8,0						
		0,7	11,2						
	3	0,2	3,2	154,2					801,1
		0,5	8,0						
		0,7	11,2						
	4	0,2	3,2	274,1					1424,2
		0,5	8,0						
		0,7	11,2						
	5	0,2	3,2	428,4					2225,5
		0,5	8,0						
		0,7	11,2						
6	0,2	3,2	616,8	3204,3					
	0,5	8,0							
	0,7	11,2							
Transmit.	Atraso Térm.	Absortância	F. Calor Solar	Capac. Térm.	Material	Conductivid.	Calor Específ.	Esp. Equiv.	Dens. Massa Apar.
U	ϕ [horas]	α	FCS	C [kJ/m².K]		λ [W/(m.K)]	c [J/(kg.K)]	E <sub>eq</sub> [m]	ρ [kg/m³]
5 W/(m².K)	1	0,2	4,0	31,4	Laje de Concreto	1,75	1,00	0,105	299,2
		0,5	10,0						
		0,7	14,0						
	2	0,2	4,0	125,7					1196,7
		0,5	10,0						
		0,7	14,0						
	3	0,2	4,0	282,7					2692,5
		0,5	10,0						
		0,7	14,0						

Apêndice E - Características físicas e térmicas dos fechamentos opacos horizontais equivalentes com câmara de ar

Transmit. U	Atraso Térm. $\phi$ [horas]	Absortância $\alpha$	F. Calor Solar FCS	Capac. Térm. C [kJ/m <sup>2</sup> .K]	Camadas	Condutivid. $\lambda$ [W/(m.K)]	Calor Especif. c [J/(kg.K)]	Esp. Equiv. E <sub>eq</sub> [m]	Dens. M Apar. $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
1 W/(m <sup>2</sup> .K)	1	0,2	0,8	12,3	Telha Fibrocim.	0,95	0,84	0,006	1900,0
		0,5	2,0		Camada de Ar	-	-		-
		0,7	2,8		Laje Concreto	1,75	0,84	0,322	10,0
	2	0,2	0,8	20,4	Telha Fibrocim.	0,95	0,84	0,006	1900,0
		0,5	2,0		Camada de Ar	-	-		-
		0,7	2,8		Laje Concreto	1,75	0,84	0,322	39,9
	3	0,2	0,8	33,8	Telha Fibrocim.	0,95	0,84	0,006	1900,0
		0,5	2,0		Camada de Ar	-	-		-
		0,7	2,8		Laje Concreto	1,75	0,84	0,322	89,7
	4	0,2	0,8	52,7	Telha Fibrocim.	0,95	0,84	0,006	1900,0
		0,5	2,0		Camada de Ar	-	-		-
		0,7	2,8		Laje Concreto	1,75	0,84	0,322	159,4
	5	0,2	0,8	76,9	Telha Fibrocim.	0,95	0,84	0,006	1900,0
		0,5	2,0		Camada de Ar	-	-		-
		0,7	2,8		Laje Concreto	1,75	0,84	0,322	249,1
	6	0,2	0,8	106,6	Telha Fibrocim.	0,95	0,84	0,006	1900,0
		0,5	2,0		Camada de Ar	-	-		-
		0,7	2,8		Laje Concreto	1,75	0,84	0,322	358,7
	7	0,2	0,8	141,6	Telha Fibrocim.	0,95	0,84	0,006	1900,0
		0,5	2,0		Camada de Ar	-	-		-
		0,7	2,8		Laje Concreto	1,75	0,84	0,322	488,3
	8	0,2	0,8	182,0	Telha Fibrocim.	0,95	0,84	0,006	1900,0
		0,5	2,0		Camada de Ar	-	-		-
		0,7	2,8		Laje Concreto	1,75	0,84	0,322	637,7
	9	0,2	0,8	227,8	Telha Fibrocim.	0,95	0,84	0,006	1900,0
		0,5	2,0		Camada de Ar	-	-		-
		0,7	2,8		Laje Concreto	1,75	0,84	0,322	807,1
	10	0,2	0,8	279,0	Telha Fibrocim.	0,95	0,84	0,006	1900,0
		0,5	2,0		Camada de Ar	-	-		-
		0,7	2,8		Laje Concreto	1,75	0,84	0,322	996,4
	11	0,2	0,8	335,5	Telha Fibrocim.	0,95	0,84	0,006	1900,0
		0,5	2,0		Camada de Ar	-	-		-
		0,7	2,8		Laje Concreto	1,75	0,84	0,322	1205,7

Transmit. U	Atraso Térm. $\phi$ [horas]	Absortância $\alpha$	F. Calor Solar FCS	Capac. Térm. C [kJ/m <sup>2</sup> K]	Camadas	Condutivid. $\lambda$ [W/(m.K)]	Calor Específ. c [J/(kg.K)]	Esp. Equiv. E <sub>eq</sub> [m]	Dens. M Apar. $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
2 W/(m <sup>2</sup> .K)	1	0,2	1,6	16,0	Telha Fibrocim.	0,95	0,84	0,006	1900,0
		0,5	4,0		Camada de Ar	-	-		-
		0,7	5,6		Laje Concreto	1,75	1,00	0,251	25,6
	2	0,2	1,6	35,3	Telha Fibrocim.	0,95	0,84	0,006	1900,0
		0,5	4,0		Camada de Ar	-	-		-
		0,7	5,6		Laje Concreto	1,75	1,00	0,251	102,4
	3	0,2	1,6	67,5	Telha Fibrocim.	0,95	0,84	0,006	1900,0
		0,5	4,0		Camada de Ar	-	-		-
		0,7	5,6		Laje Concreto	1,75	1,00	0,251	160,0
	4	0,2	1,6	112,5	Telha Fibrocim.	0,95	0,84	0,006	1900,0
		0,5	4,0		Camada de Ar	-	-		-
		0,7	5,6		Laje Concreto	1,75	1,00	0,251	409,5
	5	0,2	1,6	170,5	Telha Fibrocim.	0,95	0,84	0,006	1900,0
		0,5	4,0		Camada de Ar	-	-		-
		0,7	5,6		Laje Concreto	1,75	1,00	0,251	639,8
	6	0,2	1,6	241,2	Telha Fibrocim.	0,95	0,84	0,006	1900,0
		0,5	4,0		Camada de Ar	-	-		-
		0,7	5,6		Laje Concreto	1,75	1,00	0,251	921,4
	7	0,2	1,6	324,9	Telha Fibrocim.	0,95	0,84	0,006	1900,0
		0,5	4,0		Camada de Ar	-	-		-
		0,7	5,6		Laje Concreto	1,75	1,00	0,251	1254,1
	8	0,2	1,6	421,4	Telha Fibrocim.	0,95	0,84	0,006	1900,0
		0,5	4,0		Camada de Ar	-	-		-
		0,7	5,6		Laje Concreto	1,75	1,00	0,251	1638,0
	9	0,2	1,6	530,8	Telha Fibrocim.	0,95	0,84	0,006	1900,0
		0,5	4,0		Camada de Ar	-	-		-
		0,7	5,6		Laje Concreto	1,75	1,00	0,251	2073,1
	10	0,2	1,6	653,1	Telha Fibrocim.	0,95	0,84	0,006	1900,0
		0,5	4,0		Camada de Ar	-	-		-
		0,7	5,6		Laje Concreto	1,75	1,00	0,251	2559,3
	11	0,2	1,6	788,3	Telha Fibrocim.	0,95	0,84	0,006	1900,0
		0,5	4,0		Camada de Ar	-	-		-
		0,7	5,6		Laje Concreto	1,75	1,00	0,251	3097,8

Apêndice F - Tabela de resultados de conforto térmico e graus-hora para configurações de parede (eixo norte-sul)


TRANSMITÂNCIA = 1 W/(m².K)										TRANSMITÂNCIA = 2 W/(m².K)									
	q		CONF.	DESCONFORTO			GRAUS-HORA				CONF.	DESCONFORTO			GRAUS-HORA				
				TOTAL	FRIO	CALOR	TOTAL	RESFR	AQUEC			TOTAL	FRIO	CALOR	TOTAL	RESFR	AQUEC		
φ = 1 HORA	20%	T	73,70%	26,30%	12,30%	14,10%	2579	340	2239	68,10%	31,90%	16,60%	15,40%	3885	364	3521			
		D.C.	73,50%	26,50%	14,70%	11,80%	1223	28	1195	63,90%	36,10%	21,20%	14,90%	2121	25	2096			
		D.F.	74,50%	25,50%	14,50%	11,00%	1222	28	1194	65,40%	34,60%	20,90%	13,70%	2102	26	2076			
	50%	T	75,20%	24,80%	10,40%	14,40%	2358	524	1834	71,10%	28,90%	13,30%	15,60%	3418	701	2717			
		D.C.	76,40%	23,60%	12,50%	11,10%	1024	41	983	69,80%	30,20%	17,90%	12,30%	1696	45	1651			
		D.F.	76,70%	23,30%	13,20%	10,10%	1037	40	997	70,60%	29,40%	17,60%	11,80%	1701	43	1658			
	70%	T	76,00%	24,00%	9,40%	14,60%	2283	661	1622	72,10%	27,90%	11,80%	16,20%	3279	960	2319			
		D.C.	78,70%	21,30%	10,90%	10,30%	922	51	871	72,30%	27,70%	16,00%	11,60%	1482	60	1422			
		D.F.	79,00%	21,00%	10,30%	10,10%	943	49	894	73,10%	26,90%	15,80%	11,10%	1500	58	1442			
φ = 2 HORAS	20%	T	73,90%	26,10%	12,10%	13,90%	2560	332	2228	68,50%	31,50%	16,30%	15,10%	3810	340	3470			
		D.C.	73,70%	26,20%	14,60%	11,70%	1200	29	1171	65,20%	34,80%	20,70%	14,00%	2025	27	1998			
		D.F.	74,50%	25,50%	14,40%	11,10%	1197	28	1169	66,60%	33,40%	20,20%	13,20%	2004	27	1977			
	50%	T	75,40%	24,60%	10,40%	14,20%	2341	514	1827	71,20%	28,80%	13,30%	15,50%	3355	676	2679			
		D.C.	77,00%	23,00%	12,20%	10,80%	999	43	956	70,70%	29,30%	17,30%	12,00%	1603	48	1555			
		D.F.	78,00%	22,00%	11,90%	10,10%	1011	41	970	71,70%	28,30%	17,00%	11,30%	1604	48	1556			
	70%	T	76,10%	23,90%	9,30%	14,60%	2269	654	1615	72,50%	27,50%	11,50%	16,00%	3229	948	2281			
		D.C.	79,20%	20,80%	10,70%	10,10%	899	53	846	73,00%	27,00%	15,50%	11,50%	1394	66	1328			
		D.F.	79,50%	20,50%	10,70%	9,80%	918	51	867	73,90%	26,10%	15,20%	10,90%	1408	65	1343			
φ = 3 HORAS	20%	T	74,10%	25,90%	12,10%	13,80%	2515	313	2202	69,30%	30,70%	16,20%	14,60%	3667	274	3393			
		D.C.	74,40%	25,60%	14,20%	11,40%	1157	30	1127	67,10%	32,90%	19,60%	13,40%	1844	28	1816			
		D.F.	75,30%	24,70%	14,00%	10,80%	1154	29	1125	68,50%	31,50%	19,00%	12,50%	1817	29	1788			
	50%	T	75,60%	24,40%	10,30%	14,20%	2296	494	1802	72,40%	27,60%	12,90%	14,70%	3148	590	2558			
		D.C.	78,00%	22,00%	11,00%	11,00%	954	45	909	72,90%	27,10%	15,70%	11,40%	1392	58	1334			
		D.F.	78,70%	21,30%	11,40%	9,89%	968	45	923	74,20%	25,80%	15,30%	10,60%	1392	61	1331			
	70%	T	76,60%	23,40%	9,10%	14,30%	2231	636	1595	73,70%	26,30%	11,10%	15,20%	3015	865	2150			
		D.C.	79,50%	20,50%	10,40%	10,10%	858	57	801	76,00%	24,00%	13,60%	10,50%	1190	86	1104			
		D.F.	80,40%	19,60%	10,30%	9,30%	878	56	822	76,70%	23,30%	13,30%	9,98%	1205	91	1114			
φ = 4 HORAS	20%	T	74,50%	25,50%	12,00%	13,50%	2445	288	2157	69,90%	30,10%	15,80%	14,20%	3466	216	3250			
		D.C.	75,30%	24,70%	13,50%	11,20%	1100	31	1069	69,60%	30,40%	18,10%	12,30%	1653	28	1625			
		D.F.	76,20%	23,80%	13,40%	10,40%	1097	30	1067	70,50%	29,50%	17,70%	11,80%	1627	29	1598			
	50%	T	76,10%	23,90%	10,10%	13,80%	2224	461	1763	73,60%	26,40%	12,40%	14,10%	2889	484	2405			
		D.C.	78,50%	21,50%	11,00%	10,50%	895	49	846	75,80%	24,20%	13,90%	10,30%	1190	66	1124			
		D.F.	79,60%	20,40%	10,80%	9,62%	910	50	860	76,50%	23,50%	13,60%	9,91%	1193	71	1122			
	70%	T	77,00%	23,00%	8,80%	14,20%	2151	599	1552	74,80%	25,20%	10,60%	14,60%	2725	733	1992			
		D.C.	80,30%	19,70%	9,60%	10,10%	799	64	735	78,30%	21,70%	11,40%	10,30%	1005	107	898			
		D.F.	80,90%	19,10%	9,70%	9,40%	821	65	756	78,80%	21,10%	11,30%	9,80%	1024	115	909			
φ = 5 HORAS	20%	T	75,00%	25,00%	11,80%	13,30%	2335	239	2096	70,60%	29,30%	15,60%	13,70%	3281	165	3116			
		D.C.	76,60%	23,40%	12,60%	10,70%	1017	29	988	71,40%	28,60%	16,90%	11,70%	1507	25	1482			
		D.F.	77,50%	22,50%	12,50%	10,00%	1014	29	985	72,40%	27,60%	16,60%	11,00%	1484	24	1460			
	50%	T	77,10%	22,90%	9,72%	13,20%	2087	398	1689	74,70%	25,30%	12,00%	13,30%	2625	380	2245			
		D.C.	80,20%	19,80%	10,00%	9,82%	810	50	760	78,00%	22,00%	12,00%	9,98%	1019	66	953			
		D.F.	81,10%	18,90%	9,87%	9,04%	825	52	773	78,70%	21,30%	11,90%	9,46%	1028	70	958			
	70%	T	77,70%	22,20%	8,55%	13,70%	1997	522	1475	76,20%	23,80%	10,00%	13,80%	2412	585	1827			
		D.C.	81,80%	18,20%	8,77%	9,43%	716	68	648	80,60%	19,40%	9,52%	9,84%	852	114	738			
		D.F.	82,20%	17,80%	8,70%	9,09%	738	70	668	81,20%	18,80%	9,34%	9,48%	876	122	754			
φ = 6 HORAS	20%	T	75,60%	24,40%	11,50%	12,90%	2238	202	2036	70,90%	29,00%	15,30%	13,70%	3123	130	2993			
		D.C.	77,40%	22,60%	12,00%	10,70%	955	28	927	71,70%	28,30%	16,40%	11,90%	1414	20	1394			
		D.F.	78,00%	22,00%	12,00%	10,00%	952	27	925	73,40%	26,60%	15,80%	10,80%	1397	19	1378			
	50%	T	77,80%	22,20%	9,47%	12,80%	1959	342	1617	75,60%	24,40%	11,60%	12,80%	2423	306	2117			
		D.C.	81,20%	18,70%	9,27%	9,46%	737	52	685	79,40%	20,60%	10,80%	9,78%	912	58	854			
		D.F.	82,10%	17,90%	9,13%	8,75%	752	53	699	80,00%	20,00%	10,70%	9,25%	924	59	865			
	70%	T	78,60%	21,40%	8,22%	13,10%	1852	450	1402	77,40%	22,60%	9,57%	13,00%	2166	468	1698			
		D.C.	83,00%	17,00%	7,78%	9,18%	647	74	573	82,40%	17,60%	8,31%	9,27%	745	105	640			
		D.F.	83,10%	16,90%	7,99%	8,88%	670	77	593	82,70%	17,30%	8,31%	8,97%	771	110	661			
φ = 7 HORAS	20%	T	75,90%	24,10%	11,30%	12,80%	2142	172	1970	71,10%	28,90%	14,90%	14,00%	2992	109	2883			
		D.C.	78,10%	21,90%	11,40%	10,50%	904	25	879	71,80%	28,20%	16,00%	12,30%	1358	15	1343			
		D.F.	78,80%	21,20%	11,40%	9,80%	901	24	877	73,40%	26,60%	15,60%	11,00%	1348	15	1333			
	50%	T	78,10%	21,90%	9,17%	12,70%	1835	294	1541	75,90%	24,10%	11,30%	12,90%	2272	260	2012			
		D.C.	81,90%	18,10%	8,45%	9,64%	674	49	625	80,20%	19,80%	9,91%	9,84%	842	47	795			
		D.F.	82,90%	17,10%	8,42%	8,72%	690	50	640	81,00%	19,00%	9,98%	9,02%	857	46	811			
	70%	T	79,60%	20,40%	7,85%	12,50%	1708	383	1325	78,10%	21,90%	9,13%	12,80%	1990	395	1595			
		D.C.	84,20%	15,80%	7,07%	8,68%	583	72	511	83,50%	16,50%	7,53%	9,00%	668	87	581			
		D.F.	84,40%	15,60%	7,23%	8,36%	604	73	531	84,00%	16,00%	7,60%	8,45%	693	88	605			
φ = 8 HORAS	20%	T	76,00%	23,90%	11,10%	12,80%	2061	153	1908	71,20%	28,70%	14,70%	14,10%	2864	96	2768			
		D.C.	78,30%	21,70%	11,00%	10,60%	867	22	845	71,80%	28,20%	15,50%	12,60%	1309	11	1298			
		D.F.	79,20%	20,80%	11,10%	9,75%	865	20	845	73,40%	26,60%	15,20%	11,40%	1301	10	1291			
	50%	T	78,80%	21,10%	8,85%	12,30%	1734	257	1477	76,40%	23,60%	10,90%	12,70%	2147	231	1916			
		D.C.	82,70%	17,30%	7,94%	9,34%	630	44	586	80,40%	19,60%	9,41%	10,10%	790	38	752			
		D.F.	83,40%	16,60%	7,99%	8,65%	643	42	601	81,00%	19,00%	9,48%	9,55%	805	35	770			
	70%	T	80,10%	19,90%	7,56%	12,40%	1603	336	1267	78,70%	21,30%	8,66%	12,60%	1862	353	1509			
		D.C.	84,70%	15,30%	6,57%	8,72%	538	64	474	83,70%	16,30%	7,28%	9,02%	614	69	545			
		D.F.	85,10%	14,90%	6,71%	8,22%	557	62	495	84,10%	15,90%	7,35%	8,56%	636	67	569			



TRANSMITÂNCIA = 1 W/(m².K)										TRANSMITÂNCIA = 2 W/(m².K)									
	a		CONF.	DESCONFORTO			GRAUS-HORA			CONF.	DESCONFORTO			GRAUS-HORA					
				TOTAL	FRIO	CALOR	TOTAL	RESFR	AQUEC		TOTAL	FRIO	CALOR	TOTAL	RESFR	AQUEC			
φ = 9 HORAS	20%	T	76,30%	23,70%	10,80%	12,80%	1990	141	1849	71,40%	28,60%	14,50%	14,10%	2780	106	2674			
		D.C.	78,60%	21,40%	10,70%	10,70%	840	18	822	71,70%	28,30%	15,40%	12,90%	1279	11	1268			
		D.F.	79,50%	20,50%	10,70%	9,73%	840	17	823	73,30%	26,70%	15,10%	11,60%	1274	11	1263			
		T	79,00%	20,90%	8,67%	12,30%	1660	234	1426	76,40%	23,60%	10,70%	12,90%	2110	242	1868			
	50%	D.C.	83,10%	16,90%	7,72%	9,18%	600	38	562	80,50%	19,50%	9,34%	10,10%	779	36	743			
		D.F.	83,80%	16,80%	7,65%	8,49%	613	35	578	81,00%	19,00%	9,57%	9,39%	794	33	761			
		T	80,30%	19,70%	7,44%	12,30%	1524	307	1217	78,90%	21,10%	8,55%	12,50%	1837	362	1475			
		D.C.	85,10%	14,90%	6,27%	8,65%	503	55	448	83,77%	16,30%	7,30%	9,00%	601	63	538			
φ = 10 HORAS	20%	D.F.	85,40%	14,50%	6,43%	8,10%	522	52	470	84,20%	15,80%	7,39%	8,40%	623	61	562			
		T	76,40%	23,60%	10,60%	12,90%	1930	135	1795	71,50%	28,40%	14,20%	14,30%	2656	98	2558			
		D.C.	78,50%	21,50%	10,60%	10,90%	818	15	803	72,10%	27,90%	15,10%	12,80%	1225	9	1216			
		D.F.	79,20%	20,80%	10,60%	10,20%	819	14	805	73,40%	26,60%	14,70%	11,80%	1222	9	1213			
	50%	T	79,10%	20,90%	8,54%	12,30%	1601	221	1380	76,60%	23,40%	10,50%	12,90%	2005	224	1781			
		D.C.	82,90%	17,10%	7,44%	9,71%	578	33	545	80,70%	19,30%	9,13%	10,20%	737	30	707			
		D.F.	83,70%	16,30%	7,46%	8,79%	591	30	561	81,80%	18,90%	9,32%	9,55%	752	27	725			
		T	80,40%	19,50%	7,27%	12,30%	1460	289	1171	78,90%	21,10%	8,40%	12,70%	1739	336	1403			
φ = 11 HORAS	20%	D.C.	85,00%	15,00%	6,14%	8,86%	479	47	432	84,10%	15,90%	7,01%	8,93%	560	52	508			
		D.F.	85,30%	14,70%	6,34%	8,31%	497	43	454	84,20%	15,80%	7,28%	8,52%	581	49	532			
		T	76,40%	23,60%	10,40%	13,20%	1871	130	1741	71,50%	28,50%	14,00%	14,50%	2537	94	2443			
		D.C.	78,40%	21,60%	10,60%	11,00%	798	13	785	71,90%	28,10%	15,00%	13,10%	1173	8	1165			
	50%	D.F.	79,20%	20,80%	10,50%	10,30%	800	12	788	73,40%	26,60%	14,70%	11,90%	1171	8	1163			
		T	79,30%	20,70%	8,38%	12,30%	1551	213	1338	77,00%	22,90%	10,10%	12,90%	1908	216	1692			
		D.C.	83,00%	17,00%	7,26%	9,75%	560	28	532	81,00%	18,90%	9,04%	9,89%	700	25	675			
		D.F.	83,60%	16,40%	7,42%	8,97%	574	25	549	81,50%	18,50%	9,25%	9,27%	716	23	693			
φ = 12 HORAS	20%	T	80,40%	19,60%	7,24%	12,40%	1408	279	1129	78,80%	21,20%	8,29%	12,90%	1649	321	1328			
		D.C.	85,10%	14,90%	6,09%	8,77%	460	41	419	84,00%	16,00%	6,78%	9,23%	525	44	481			
		D.F.	85,50%	14,50%	6,18%	8,29%	478	37	441	84,10%	15,90%	7,10%	8,79%	546	40	506			
		T	76,40%	23,60%	10,40%	13,20%	1871	130	1741	71,50%	28,50%	14,00%	14,50%	2537	94	2443			
	φ = 13 HORAS	20%	D.C.	78,40%	21,60%	10,60%	11,00%	798	13	785	71,90%	28,10%	15,00%	13,10%	1173	8	1165		
			D.F.	79,20%	20,80%	10,50%	10,30%	800	12	788	73,40%	26,60%	14,70%	11,90%	1171	8	1163		
			T	79,30%	20,70%	8,38%	12,30%	1551	213	1338	77,00%	22,90%	10,10%	12,90%	1908	216	1692		
			D.C.	83,00%	17,00%	7,26%	9,75%	560	28	532	81,00%	18,90%	9,04%	9,89%	700	25	675		
50%		D.F.	83,60%	16,40%	7,42%	8,97%	574	25	549	81,50%	18,50%	9,25%	9,27%	716	23	693			
		T	80,40%	19,60%	7,24%	12,40%	1408	279	1129	78,80%	21,20%	8,29%	12,90%	1649	321	1328			
		D.C.	85,10%	14,90%	6,09%	8,77%	460	41	419	84,00%	16,00%	6,78%	9,23%	525	44	481			
		D.F.	85,50%	14,50%	6,18%	8,29%	478	37	441	84,10%	15,90%	7,10%	8,79%	546	40	506			
TRANSMITÂNCIA = 3 W/(m².K)										TRANSMITÂNCIA = 4 W/(m².K)									
	a		CONF.	DESCONFORTO			GRAUS-HORA			CONF.	DESCONFORTO			GRAUS-HORA					
				TOTAL	FRIO	CALOR	TOTAL	RESFR	AQUEC		TOTAL	FRIO	CALOR	TOTAL	RESFR	AQUEC			
φ = 1 HORA	20%	T	62,80%	37,20%	20,00%	17,20%	4910	385	4525	58,30%	41,70%	23,00%	18,70%	5720	403	5317			
		D.C.	55,20%	44,80%	26,60%	18,10%	2847	24	2823	48,70%	51,30%	30,80%	20,50%	3406	24	3382			
		D.F.	56,90%	43,10%	25,90%	17,20%	2819	25	2794	50,80%	49,20%	29,90%	19,30%	3371	26	3345			
		T	67,40%	32,60%	15,70%	16,90%	4266	859	3407	64,10%	35,90%	17,50%	18,40%	4944	996	3948			
	50%	D.C.	64,10%	35,90%	21,50%	14,40%	2253	48	2205	59,30%	40,60%	24,50%	16,10%	2679	52	2627			
		D.F.	65,20%	34,80%	21,20%	13,60%	2259	47	2212	60,40%	39,60%	24,20%	15,40%	2687	52	2635			
		T	69,30%	30,70%	13,30%	17,40%	4091	1232	2859	66,40%	33,60%	14,80%	18,70%	4779	1470	3309			
		D.C.	67,70%	32,30%	19,00%	13,30%	1948	68	1880	63,70%	36,30%	21,60%	14,70%	2328	76	2252			
φ = 2 HORAS	20%	D.F.	68,80%	31,20%	18,80%	12,40%	1971	66	1905	64,70%	35,30%	21,50%	13,80%	2353	75	2278			
		T	64,10%	35,90%	19,50%	16,50%	4749	338	4411	60,80%	39,20%	22,00%	17,20%	5358	304	5054			
		D.C.	58,30%	41,70%	24,80%	16,90%	2622	27	2595	55,50%	44,50%	26,90%	17,60%	2924	29	2895			
		D.F.	59,90%	40,10%	24,10%	16,00%	2589	29	2560	56,80%	43,20%	26,40%	16,80%	2881	32	2849			
	50%	T	68,50%	31,50%	15,20%	16,30%	4107	809	3298	66,80%	33,20%	16,50%	16,70%	4526	859	3667			
		D.C.	66,70%	33,30%	20,10%	13,30%	2028	56	1972	65,30%	34,70%	21,00%	13,60%	2188	70	2118			
		D.F.	67,70%	32,30%	19,80%	12,40%	2025	57	1968	66,60%	33,40%	20,60%	12,80%	2181	77	2104			
		T	69,90%	30,10%	13,00%	17,10%	3954	1204	2750	68,30%	31,60%	13,90%	17,80%	4375	1358	3017			
φ = 3 HORAS	20%	D.C.	70,10%	29,90%	17,60%	12,30%	1737	82	1655	69,30%	30,60%	18,30%	12,30%	1863	115	1748			
		D.F.	71,20%	28,80%	17,40%	11,40%	1754	86	1668	70,50%	29,50%	17,80%	11,70%	1877	126	1751			
		T	65,70%	34,30%	19,00%	15,30%	4459	261	4198	62,80%	37,20%	21,20%	16,00%	4908	197	4711			
		D.C.	63,00%	37,00%	22,40%	14,70%	2303	30	2273	60,90%	39,10%	23,90%	15,20%	2462	26	2436			
	50%	D.F.	64,10%	35,90%	22,00%	14,00%	2265	31	2234	62,50%	37,50%	23,10%	14,30%	2416	29	2387			
		T	70,00%	30,00%	14,60%	15,40%	3732	671	3061	69,50%	30,50%	15,40%	15,10%	3859	596	3263			
		D.C.	70,50%	29,50%	17,80%	11,70%	1682	72	1610	70,90%	29,10%	17,50%	11,60%	1655	88	1567			
		D.F.	71,70%	28,30%	17,10%	11,10%	1675	77	1598	72,00%	28,00%	16,80%	11,20%	1649	97	1552			
70%	T	71,60%	28,40%	12,30%	16,20%	3570	1065	2505	71,20%	28,80%	12,70%	16,10%	3617	1028	2589				
	D.C.	73,70%	26,30%	15,10%	11,20%	1413	118	1295	75,00%	25,00%	14,10%	10,90%	1359	162	1197				
	D.F.	74,70%	25,30%	14,70%	10,60%	1430	130	1300	76,00%	24,00%	13,60%	10,50%	1380	180	1200				

TRANSMITÂNCIA = 3 W/(m².K)									TRANSMITÂNCIA = 4 W/(m².K)								
	$\alpha$		CONF.	DESCONFORTO			GRAUS-HORA			CONF.	DESCONFORTO			GRAUS-HORA			
				TOTAL	FRIO	CALOR	TOTAL	RESFR	AQUEC		TOTAL	FRIO	CALOR	TOTAL	RESFR	AQUEC	
$\varphi = 4$ HORAS	20%	T	66,60%	34,30%	19,00%	15,30%	4167	191	3976	63,90%	36,10%	20,70%	15,40%	4583	132	4451	
		D.C.	65,60%	34,40%	20,90%	13,50%	2031	26	2005	63,30%	36,70%	22,40%	14,30%	2218	19	2199	
		D.F.	67,00%	33,00%	20,20%	12,80%	1995	28	1967	65,10%	34,90%	21,80%	13,10%	2180	20	2160	
	50%	T	71,90%	28,10%	13,80%	14,30%	3307	505	2802	70,90%	29,10%	15,00%	14,10%	3389	412	2977	
		D.C.	74,20%	25,80%	15,20%	10,60%	1369	79	1290	74,20%	25,80%	15,00%	10,80%	1352	77	1275	
		D.F.	75,10%	24,90%	14,80%	10,10%	1369	84	1285	75,10%	24,90%	14,50%	10,40%	1358	81	1277	
	70%	T	73,30%	26,70%	11,40%	15,20%	3072	835	2237	73,30%	26,70%	11,80%	14,90%	3019	727	2292	
		D.C.	77,50%	22,50%	12,00%	10,40%	1122	142	980	78,30%	21,70%	11,10%	10,60%	1076	157	919	
		D.F.	78,00%	22,00%	11,90%	10,10%	1144	155	989	78,80%	21,20%	11,00%	10,20%	1102	167	935	
$\varphi = 5$ HORAS	20%	T	67,40%	32,60%	18,30%	14,30%	3936	142	3794	LEGENDA							
		D.C.	67,00%	33,00%	19,90%	13,10%	1866	20	1846								
		D.F.	68,90%	31,00%	19,30%	11,70%	1837	21	1816	$\alpha$	Absortância						
	50%	T	73,00%	27,00%	13,80%	13,70%	2982	383	2599	$\varphi$	Atraso Térmico						
		D.C.	76,40%	23,60%	13,30%	10,30%	1169	71	1098	T	Total da Habitação						
		D.F.	77,10%	22,90%	13,20%	9,73%	1178	75	1103	D.C.	Dormitório do Casal						
	70%	T	74,90%	25,10%	10,90%	14,20%	2671	641	2030	D.F.	Dormitório dos Filhos						
		D.C.	79,90%	20,10%	9,89%	10,20%	938	138	800	RESFR	Resfriamento						
		D.F.	80,30%	19,70%	9,82%	9,89%	963	146	817	AQUEC	Aquecimento						
$\varphi = 6$ HORAS	20%	T	67,60%	32,40%	17,90%	14,50%	3737	110	3627								
		D.C.	67,40%	32,60%	19,20%	13,40%	1761	15	1746								
		D.F.	69,30%	30,70%	18,70%	12,10%	1738	15	1723								
	50%	T	73,80%	26,20%	12,90%	13,40%	2758	311	2447								
		D.C.	77,50%	22,50%	12,20%	10,30%	1051	57	994								
		D.F.	78,10%	21,90%	12,10%	9,75%	1065	58	1007								
	70%	T	76,30%	23,70%	10,20%	13,50%	2394	514	1880								
		D.C.	81,40%	18,50%	8,70%	9,84%	818	119	699								
		D.F.	82,00%	18,00%	8,68%	9,36%	843	121	722								
TRANSMITÂNCIA = 5 W/(m².K)																	
$\varphi = 1$ HORA	$\alpha$		CONF.	DESCONFORTO			GRAUS-HORA										
				TOTAL	FRIO	CALOR	TOTAL	RESFR	AQUEC								
	20%	T	55,90%	44,10%	24,70%	19,40%	6221	376	5845								
		D.C.	46,10%	53,90%	32,30%	21,60%	3644	27	3617								
		D.F.	47,80%	52,20%	31,80%	20,40%	3598	29	3569								
	50%	T	62,60%	37,40%	18,70%	18,70%	5344	1067	4277								
		D.C.	58,30%	41,70%	25,50%	16,20%	2822	62	2760								
		D.F.	58,90%	41,10%	25,30%	15,80%	2823	65	2758								
	70%	T	64,90%	35,10%	15,70%	19,40%	5250	1657	3593								
		D.C.	62,70%	37,30%	22,20%	15,10%	2439	96	2343								
		D.F.	64,00%	36,00%	22,10%	13,90%	2460	102	2358								


Apêndice G - Tabela de resultados de conforto térmico e graus-hora para configurações de parede (eixo leste-oeste)

TRANSMITÂNCIA = 1 W/(m².K)										TRANSMITÂNCIA = 2 W/(m².K)									
	a		CONF.	DESCONFORTO			GRAUS-HORA			CONF.	DESCONFORTO			GRAUS-HORA					
				TOTAL	FRIO	CALOR	TOTAL	RESFR	AQUEC		TOTAL	FRIO	CALOR	TOTAL	RESFR	AQUEC			
φ = 1 HORA	20%	T	74,30%	25,70%	11,60%	14,10%	2396	295	2101	68,10%	31,90%	16,10%	15,80%	3710	333	3377			
		D.C.	75,30%	24,70%	13,30%	11,40%	1067	27	1040	65,30%	34,70%	20,10%	14,50%	1936	26	1910			
		D.F.	73,20%	26,80%	15,60%	11,20%	1339	20	1319	63,20%	36,80%	22,10%	14,70%	2284	19	2265			
	50%	T	75,60%	24,40%	10,10%	14,40%	2257	503	1754	70,90%	29,10%	13,20%	15,90%	3395	730	2665			
		D.C.	78,20%	21,80%	11,30%	10,50%	928	40	888	70,90%	29,10%	17,20%	11,90%	1613	45	1568			
		D.F.	75,90%	24,10%	13,40%	10,70%	1162	31	1131	68,60%	31,40%	19,50%	12,00%	1917	36	1881			
	70%	T	76,20%	23,80%	9,00%	14,80%	2230	664	1566	72,60%	27,40%	11,00%	16,40%	3088	1012	2076			
		D.C.	79,70%	20,30%	10,30%	10,00%	858	51	807	73,30%	26,70%	15,50%	11,20%	1404	59	1345			
		D.F.	77,30%	22,70%	12,40%	10,20%	1067	39	1028	71,20%	28,80%	17,40%	11,40%	1695	48	1647			
φ = 2 HORAS	20%	T	74,50%	25,50%	11,60%	13,90%	2372	285	2087	68,70%	31,30%	15,90%	15,40%	3634	308	3326			
		D.C.	75,90%	24,10%	13,00%	11,10%	1043	28	1015	66,40%	33,60%	19,70%	13,90%	1845	27	1818			
		D.F.	73,60%	26,40%	15,20%	11,20%	1312	20	1292	64,70%	35,20%	21,40%	13,80%	2186	20	2166			
	50%	T	75,80%	24,20%	9,90%	14,30%	2235	490	1745	71,00%	29,00%	13,20%	15,90%	3324	695	2629			
		D.C.	78,70%	21,30%	10,90%	10,30%	905	42	863	71,90%	28,10%	16,60%	11,50%	1519	50	1469			
		D.F.	76,10%	23,90%	13,30%	10,60%	1133	31	1102	69,60%	30,40%	18,80%	11,60%	1813	39	1774			
	70%	T	76,40%	23,60%	8,80%	14,80%	2210	654	1556	72,90%	27,10%	10,70%	16,30%	3040	988	2052			
		D.C.	80,10%	19,90%	9,90%	10,00%	833	53	780	74,20%	25,80%	14,70%	11,10%	1319	66	1253			
		D.F.	78,00%	22,00%	12,00%	10,00%	1037	41	996	72,00%	28,00%	16,70%	11,20%	1595	53	1542			
φ = 3 HORAS	20%	T	74,80%	25,20%	11,50%	13,70%	2325	267	2058	69,40%	30,60%	15,60%	15,00%	3480	241	3239			
		D.C.	76,60%	23,40%	12,50%	10,90%	1004	29	975	68,80%	31,20%	18,50%	12,80%	1670	30	1640			
		D.F.	74,00%	26,00%	14,80%	11,20%	1269	21	1248	66,60%	33,40%	20,40%	13,00%	2011	22	1989			
	50%	T	76,00%	24,00%	9,80%	14,20%	2192	468	1724	72,10%	27,80%	12,60%	15,20%	3095	590	2505			
		D.C.	79,10%	20,90%	10,50%	10,40%	865	45	820	73,90%	26,10%	15,00%	11,00%	1324	64	1260			
		D.F.	76,60%	23,30%	12,90%	10,40%	1087	34	1053	72,10%	27,90%	17,10%	10,80%	1607	51	1556			
	70%	T	76,70%	23,30%	8,70%	14,60%	2166	628	1538	73,00%	27,00%	11,00%	16,00%	3040	905	2135			
		D.C.	80,60%	19,40%	9,50%	9,90%	797	60	737	76,40%	23,60%	13,30%	10,30%	1171	99	1072			
		D.F.	78,60%	21,40%	11,50%	9,90%	993	46	947	74,50%	25,50%	15,20%	10,20%	1409	78	1331			
φ = 4 HORAS	20%	T	75,00%	25,00%	11,30%	13,70%	2256	240	2016	70,50%	29,50%	15,10%	14,40%	3279	183	3096			
		D.C.	77,00%	23,00%	12,10%	10,90%	954	30	924	70,90%	29,10%	17,10%	12,00%	1496	30	1466			
		D.F.	74,60%	25,40%	14,30%	11,10%	1215	22	1193	68,60%	31,40%	19,30%	12,10%	1843	22	1821			
	50%	T	76,50%	23,50%	9,50%	14,00%	2104	428	1676	73,40%	26,60%	12,20%	14,40%	2821	473	2348			
		D.C.	79,90%	20,10%	10,00%	10,10%	814	51	763	76,30%	23,70%	13,40%	10,30%	1145	77	1068			
		D.F.	77,60%	22,40%	12,20%	10,20%	1028	39	989	73,90%	26,10%	15,50%	10,60%	1419	59	1360			
	70%	T	77,30%	22,70%	8,50%	14,20%	2075	579	1496	74,20%	25,80%	10,50%	15,30%	2722	746	1976			
		D.C.	81,70%	18,30%	8,90%	9,40%	748	69	679	78,40%	21,60%	11,20%	10,30%	1010	129	881			
		D.F.	79,90%	20,10%	10,60%	9,50%	936	53	883	76,60%	23,40%	13,30%	10,10%	1233	100	1133			
φ = 5 HORAS	20%	T	76,60%	23,40%	10,10%	13,30%	1919	193	1726	71,40%	28,60%	14,70%	13,90%	3085	135	2950			
		D.C.	78,80%	21,20%	11,00%	10,20%	833	28	805	73,00%	27,00%	15,90%	11,10%	1357	25	1332			
		D.F.	75,90%	24,10%	13,20%	10,90%	1113	21	1092	70,10%	29,90%	18,50%	11,40%	1720	19	1701			
	50%	T	78,30%	21,70%	8,40%	13,30%	1758	358	1400	74,50%	25,50%	11,70%	13,80%	2546	359	2187			
		D.C.	81,40%	18,60%	8,80%	9,80%	696	52	644	78,10%	21,90%	11,80%	10,10%	993	75	918			
		D.F.	78,90%	21,10%	11,10%	10,00%	922	39	883	75,40%	24,60%	14,30%	10,20%	1276	56	1220			
	70%	T	79,10%	20,90%	7,30%	13,60%	1722	490	1232	75,50%	24,40%	10,10%	14,40%	2390	582	1808			
		D.C.	82,90%	17,10%	8,00%	9,10%	635	72	563	80,50%	19,50%	9,40%	10,10%	869	136	733			
		D.F.	80,90%	19,10%	9,80%	9,30%	831	54	777	78,10%	21,90%	11,80%	10,10%	1087	101	986			
φ = 6 HORAS	20%	T	77,10%	22,90%	9,90%	13,00%	1823	161	1662	71,70%	28,30%	14,50%	13,80%	2928	102	2826			
		D.C.	79,60%	20,40%	10,20%	10,10%	772	27	745	73,80%	26,20%	15,10%	11,10%	1292	53	1239			
		D.F.	76,70%	23,30%	12,80%	10,50%	1053	19	1034	70,80%	29,20%	17,70%	11,50%	1652	14	1638			
	50%	T	78,90%	21,10%	8,10%	13,00%	1632	300	1332	75,50%	24,50%	11,20%	13,30%	2332	280	2052			
		D.C.	82,80%	17,20%	8,00%	9,20%	631	54	577	79,60%	20,40%	10,50%	9,90%	889	61	828			
		D.F.	80,10%	19,90%	10,50%	9,40%	855	40	815	76,40%	23,60%	13,30%	10,30%	1189	44	1145			
	70%	T	79,90%	20,10%	6,90%	13,20%	1577	414	1163	77,00%	23,00%	9,40%	13,60%	2128	456	1672			
		D.C.	83,70%	16,30%	7,00%	9,30%	573	79	494	81,50%	18,50%	8,40%	10,10%	764	118	646			
		D.F.	81,90%	18,10%	9,00%	9,10%	764	59	705	79,30%	20,70%	10,90%	9,80%	991	83	908			
φ = 7 HORAS	20%	T	77,40%	22,50%	9,60%	12,90%	1737	135	1602	71,80%	28,20%	14,20%	14,00%	2796	82	2714			
		D.C.	80,20%	19,80%	9,70%	10,10%	723	23	700	74,00%	26,00%	14,70%	11,40%	1217	14	1203			
		D.F.	77,20%	22,80%	12,20%	10,60%	1010	16	994	70,50%	29,50%	17,50%	12,00%	1610	10	1600			
	50%	T	79,60%	20,40%	7,70%	12,70%	1516	251	1265	76,10%	23,90%	10,70%	13,20%	2182	235	1947			
		D.C.	83,60%	16,40%	7,30%	9,10%	575	50	525	80,20%	19,80%	9,80%	10,00%	824	47	777			
		D.F.	81,00%	19,00%	9,90%	9,10%	802	36	766	76,90%	23,10%	12,90%	10,10%	1141	34	1107			
	70%	T	80,60%	19,40%	6,70%	12,70%	1439	346	1093	77,70%	22,30%	9,00%	13,30%	1948	380	1568			
		D.C.	84,60%	15,40%	6,30%	9,10%	514	75	439	82,30%	17,70%	7,90%	9,80%	688	92	596			
		D.F.	82,60%	17,40%	8,40%	9,00%	705	54	651	79,80%	20,20%	10,40%	9,80%	934	63	871			
φ = 8 HORAS	20%	T	77,90%	22,10%	9,50%	12,60%	1663	117	1546	71,70%	28,30%	13,80%	14,40%	2672	72	2600			
		D.C.	80,60%	19,40%	9,30%	10,10%	688	19	669	73,60%	26,40%	14,50%	11,90%	1168	9	1159			
		D.F.	77,60%	22,40%	12,10%	10,30%	982	13	969	70,10%	29,90%	17,10%	12,80%	1569	8	1561			
	50%	T	79,90%	20,10%	7,60%	12,50%	1420	218	1202	76,30%	23,60%	10,60%	13,10%	2059	208	1851			
		D.C.	84,10%	15,90%	6,90%	9,00%	529	42	487	80,50%	19,50%	9,60%	9,90%	778	37	741			
		D.F.	81,40%	18,60%	9,40%	9,20%	765	31	734	77,10%	22,90%	12,80%	10,20%	1107	27	1080			
	70%	T	81,00%	19,00%	6,60%	12,40%	1331	299	1032	78,30%	21,70%	8,60%	13,10%	1819	338	1481			
		D.C.	85,50%	14,50%	5,90%	8,60%	467	64	403	83,10%	16,90%	7,50%	9,40%	633	68	565			
		D.F.	83,40%	16,60%	7,90%	8,70%	666	46	620	80,50%	19,50%	10,00%	9,50%	897	48	849			

TRANSMITÂNCIA = 1 W/(m².K)										TRANSMITÂNCIA = 2 W/(m².K)									
	a		CONF.	DESCONFORTO			GRAUS-HORA			CONF.	DESCONFORTO			GRAUS-HORA					
				TOTAL	FRIJO	CALOR	TOTAL	RESFR	AQUEC		TOTAL	FRIJO	CALOR	TOTAL	RESFR	AQUEC			
φ = 9 HORAS	20%	T	78,10%	21,90%	9,30%	12,60%	1602	107	1495	72,10%	27,80%	13,60%	14,20%	2597	80	2517			
		D.C.	80,90%	19,10%	9,20%	9,90%	664	16	648	73,90%	26,10%	14,30%	11,90%	1150	10	1140			
		D.F.	77,70%	22,30%	11,80%	10,50%	963	11	952	70,30%	29,70%	17,10%	12,60%	1533	8	1525			
		T	80,20%	19,80%	7,40%	12,40%	1351	198	1153	77,40%	22,60%	9,60%	13,00%	1846	219	1627			
	50%	D.C.	84,50%	15,50%	6,80%	8,70%	502	35	467	80,90%	19,10%	9,10%	10,00%	739	34	705			
		D.F.	81,70%	18,30%	9,20%	9,10%	746	26	720	77,20%	22,80%	12,30%	10,40%	1073	25	1048			
		T	81,50%	18,50%	6,30%	12,20%	1252	271	981	78,90%	21,10%	8,00%	13,10%	1641	347	1294			
		D.C.	85,70%	14,30%	5,70%	8,60%	432	52	380	83,40%	16,70%	7,40%	9,30%	594	61	533			
φ = 10 HORAS	20%	D.F.	83,70%	16,30%	7,70%	8,60%	642	38	604	80,90%	19,10%	9,90%	9,20%	869	44	825			
		T	78,20%	21,80%	9,20%	12,60%	1546	101	1445	71,90%	28,10%	13,50%	14,60%	2482	74	2408			
		D.C.	80,90%	19,10%	9,00%	10,10%	640	12	628	73,50%	26,50%	13,90%	12,60%	1098	8	1090			
		D.F.	77,50%	22,50%	11,70%	10,80%	944	9	935	70,20%	29,80%	16,70%	13,10%	1476	7	1469			
	50%	T	80,50%	19,50%	7,20%	12,30%	1296	188	1108	77,90%	22,10%	9,30%	12,70%	1749	204	1545			
		D.C.	84,60%	15,40%	6,50%	8,90%	481	30	451	81,50%	18,50%	9,90%	9,60%	699	29	670			
		D.F.	81,90%	18,10%	9,00%	9,10%	731	22	709	77,50%	22,50%	12,10%	10,30%	1036	21	1015			
		T	81,50%	18,50%	6,10%	12,40%	1195	257	938	79,30%	20,70%	7,70%	13,00%	1547	326	1221			
φ = 11 HORAS	20%	D.C.	85,70%	14,30%	5,50%	8,80%	408	43	365	83,30%	16,20%	7,10%	9,10%	553	49	504			
		D.F.	83,40%	16,60%	7,80%	8,80%	627	32	595	80,80%	19,20%	9,60%	9,60%	835	37	798			
		T	78,30%	21,70%	9,00%	12,70%	1493	98	1395	71,90%	28,10%	13,30%	14,80%	2366	71	2295			
		D.C.	81,40%	18,60%	8,60%	10,00%	620	11	609	73,30%	26,70%	13,70%	13,00%	1045	7	1038			
	50%	D.F.	77,50%	22,50%	11,70%	10,80%	924	8	916	69,60%	30,40%	16,80%	13,60%	1421	6	1415			
		T	80,60%	19,40%	7,10%	12,30%	1248	182	1066	78,20%	21,80%	9,10%	12,70%	1658	198	1460			
		D.C.	84,80%	15,20%	6,30%	8,90%	463	26	437	82,20%	17,80%	8,60%	9,20%	661	25	636			
		D.F.	81,70%	18,30%	9,00%	9,30%	717	19	698	78,10%	21,90%	12,00%	9,90%	995	18	977			
φ = 12 HORAS	20%	T	81,50%	18,50%	5,90%	12,60%	1147	249	898	79,80%	20,20%	7,30%	12,90%	1465	315	1150			
		D.C.	85,60%	14,40%	5,50%	8,90%	392	38	354	84,10%	15,90%	6,80%	9,10%	520	42	478			
		D.F.	83,40%	16,60%	7,80%	8,80%	615	28	587	81,20%	18,80%	9,40%	9,40%	801	31	770			
		T	78,30%	21,70%	9,00%	12,70%	1493	98	1395	71,90%	28,10%	13,30%	14,80%	2366	71	2295			
	50%	D.C.	81,40%	18,60%	8,60%	10,00%	620	11	609	73,30%	26,70%	13,70%	13,00%	1045	7	1038			
		D.F.	77,50%	22,50%	11,70%	10,80%	924	8	916	69,60%	30,40%	16,80%	13,60%	1421	6	1415			
		T	80,60%	19,40%	7,10%	12,30%	1248	182	1066	78,20%	21,80%	9,10%	12,70%	1658	198	1460			
		D.C.	84,80%	15,20%	6,30%	8,90%	463	26	437	82,20%	17,80%	8,60%	9,20%	661	25	636			
70%	D.F.	81,70%	18,30%	9,00%	9,30%	717	19	698	78,10%	21,90%	12,00%	9,90%	995	18	977				
	T	81,50%	18,50%	5,90%	12,60%	1147	249	898	79,80%	20,20%	7,30%	12,90%	1465	315	1150				
	D.C.	85,60%	14,40%	5,50%	8,90%	392	38	354	84,10%	15,90%	6,80%	9,10%	520	42	478				
	D.F.	83,40%	16,60%	7,80%	8,80%	615	28	587	81,20%	18,80%	9,40%	9,40%	801	31	770				
TRANSMITÂNCIA = 3 W/(m².K)										TRANSMITÂNCIA = 4 W/(m².K)									
	a		CONF.	DESCONFORTO			GRAUS-HORA			CONF.	DESCONFORTO			GRAUS-HORA					
				TOTAL	FRIJO	CALOR	TOTAL	RESFR	AQUEC		TOTAL	FRIJO	CALOR	TOTAL	RESFR	AQUEC			
φ = 1 HORA	20%	T	63,30%	36,70%	19,10%	17,50%	4528	360	4168	59,00%	41,00%	22,30%	18,70%	5364	384	4980			
		D.C.	56,50%	43,50%	25,20%	18,30%	2636	25	2611	49,80%	50,20%	29,80%	20,40%	3210	26	3184			
		D.F.	54,80%	45,20%	27,30%	17,90%	3041	19	3022	48,60%	51,40%	31,50%	20,00%	3620	19	3601			
		T	68,30%	31,70%	14,80%	16,90%	4050	907	3143	65,00%	35,00%	16,80%	18,20%	4788	1077	3711			
	50%	D.C.	65,60%	34,40%	20,90%	13,50%	2157	48	2109	58,40%	41,60%	26,40%	15,20%	2613	54	2559			
		D.F.	63,60%	36,40%	22,80%	13,60%	2513	39	2474	58,00%	42,00%	26,20%	15,80%	2980	44	2936			
		T	69,70%	30,30%	12,70%	17,60%	3988	1348	2640	66,90%	33,10%	14,30%	18,70%	4744	1632	3112			
		D.C.	68,90%	31,10%	18,70%	12,40%	1904	68	1836	64,80%	35,20%	21,70%	13,60%	2312	79	2233			
φ = 2 HORAS	20%	D.F.	66,80%	33,20%	20,90%	12,30%	2227	56	2171	63,30%	36,70%	23,40%	13,30%	2645	65	2580			
		T	64,70%	35,30%	18,50%	16,80%	4366	309	4057	61,40%	38,60%	21,20%	17,30%	5000	281	4719			
		D.C.	59,80%	40,20%	23,40%	16,70%	2421	28	2393	56,40%	43,60%	26,10%	17,50%	2746	32	2714			
		D.F.	57,80%	42,20%	25,70%	16,50%	2812	21	2791	54,50%	45,50%	28,20%	17,30%	3155	24	3131			
	50%	T	68,90%	31,10%	14,50%	16,60%	3893	834	3059	66,80%	33,20%	16,00%	17,20%	4363	899	3464			
		D.C.	68,00%	32,00%	19,40%	12,60%	1939	60	1879	66,20%	33,80%	20,70%	13,10%	2139	83	2056			
		D.F.	66,20%	33,80%	21,30%	12,60%	2277	48	2229	64,80%	35,70%	22,70%	13,00%	2486	66	2420			
		T	70,10%	29,90%	12,50%	17,50%	3840	1293	2547	68,50%	31,50%	13,40%	18,10%	4328	1474	2854			
φ = 3 HORAS	20%	D.C.	70,90%	29,10%	17,20%	11,90%	1701	92	1609	70,00%	30,00%	18,00%	12,00%	1875	144	1731			
		D.F.	69,20%	30,80%	19,30%	11,60%	1991	73	1918	68,00%	32,00%	20,10%	11,90%	2160	113	2047			
		T	66,20%	33,80%	18,00%	15,80%	4078	232	3846	63,40%	36,60%	20,30%	16,30%	4552	174	4378			
		D.C.	64,20%	35,80%	21,30%	14,50%	2116	31	2085	62,50%	37,50%	22,80%	14,70%	2307	29	2278			
	50%	D.F.	62,20%	37,80%	23,40%	14,40%	2510	23	2487	60,20%	39,80%	25,10%	14,60%	2757	22	2735			
		T	70,50%	29,50%	13,90%	15,60%	3506	672	2834	69,60%	30,40%	15,00%	15,50%	3678	603	3075			
		D.C.	71,40%	28,60%	17,00%	11,60%	1622	84	1538	71,30%	28,70%	17,10%	11,60%	1653	106	1547			
		D.F.	69,30%	30,60%	19,30%	11,30%	1944	66	1878	69,30%	30,70%	19,40%	11,30%	2012	81	1931			
70%	T	71,70%	28,30%	11,60%	16,70%	3441	1111	2330	71,00%	29,00%	12,20%	16,80%	3533	1080	2453				
	D.C.	74,20%	25,80%	14,70%	11,10%	1415	146	1269	74,60%	25,40%	14,30%	11,10%	1422	207	1215				
	D.F.	72,60%	27,40%	16,50%	10,90%	1675	113	1562	72,60%	27,30%	16,20%	11,10%	1701	159	1542				

TRANSMITÂNCIA = 3 W/(m².K)									TRANSMITÂNCIA = 4 W/(m².K)									
	$\alpha$		CONF.	DESCONFORTO			GRAUS-HORA			CONF.	DESCONFORTO			GRAUS-HORA				
				TOTAL	FRIO	CALOR	TOTAL	RESFR	AQUEC		TOTAL	FRIO	CALOR	TOTAL	RESFR	AQUEC		
$\varphi = 4$ HORAS	20%	T	67,80%	32,20%	17,30%	14,80%	3786	163	3623	64,40%	35,60%	19,80%	15,80%	4228	113	4115		
		D.C.	67,30%	32,70%	19,70%	13,00%	1863	28	1835	65,10%	34,90%	21,60%	13,30%	2084	20	2064		
		D.F.	65,00%	35,00%	22,10%	12,90%	2281	21	2260	62,00%	38,00%	24,40%	13,70%	2572	16	2556		
	50%	T	72,30%	27,70%	13,10%	14,60%	3086	497	2589	71,30%	28,70%	14,30%	14,40%	3204	410	2791		
		D.C.	74,20%	25,80%	14,80%	10,90%	1344	93	1251	73,90%	26,10%	15,10%	10,90%	1380	87	1293		
		D.F.	72,20%	27,80%	17,00%	10,80%	1672	69	1603	71,00%	29,00%	17,90%	11,10%	1775	63	1712		
	70%	T	73,40%	26,60%	10,90%	15,70%	2923	849	2074	72,90%	27,10%	11,40%	15,70%	2917	748	2169		
		D.C.	77,20%	22,80%	12,00%	10,80%	1153	175	978	77,60%	22,40%	11,50%	10,90%	1151	185	966		
		D.F.	75,10%	24,90%	14,30%	10,50%	1411	133	1278	74,10%	25,90%	15,70%	10,20%	1452	136	1316		
$\varphi = 5$ HORAS	20%	T	68,00%	32,00%	17,20%	14,80%	3556	118	3438	LEGENDA								
		D.C.	69,10%	30,90%	18,70%	12,20%	1709	21	1688									
		D.F.	66,20%	33,80%	21,40%	12,40%	2153	16	2137									
	50%	T	73,60%	26,40%	12,60%	13,80%	2760	370	2390									
		D.C.	76,20%	23,80%	13,20%	10,60%	1161	78	1083									
		D.F.	73,50%	26,50%	15,90%	10,70%	1513	57	1456									
	70%	T	75,00%	25,00%	10,30%	14,70%	2519	643	1876									
		D.C.	79,40%	20,60%	10,10%	10,40%	975	159	816									
D.F.		76,70%	23,30%	12,90%	10,40%	1243	116	1127										
$\varphi = 6$ HORAS	20%	T	68,50%	31,50%	16,70%	14,70%	3360	89	3271	$\alpha$	Absortância							
		D.C.	69,30%	30,60%	18,20%	12,40%	1611	14	1597	$\varphi$	Atraso Térmico							
		D.F.	66,40%	33,60%	21,00%	12,60%	2071	11	2060	T	Total da Habitação							
	50%	T	74,10%	25,90%	12,20%	13,80%	2535	297	2238	D.C.	Dormitório do Casal							
		D.C.	77,30%	22,70%	12,40%	10,30%	1052	60	992	D.F.	Dormitório dos Filhos							
		D.F.	74,10%	25,90%	15,30%	10,60%	1425	44	1381	RESFR	Resfriamento							
	70%	T	76,40%	23,60%	9,60%	14,00%	2247	515	1732	AQUEC	Aquecimento							
		D.C.	80,70%	19,30%	9,20%	10,10%	857	127	730									
D.F.		77,50%	22,50%	12,20%	10,30%	1143	89	1054										
TRANSMITÂNCIA = 5 W/(m².K)																		
$\varphi = 1$ HORA	$\alpha$		CONF.	DESCONFORTO			GRAUS-HORA											
				TOTAL	FRIO	CALOR	TOTAL	RESFR	AQUEC									
	20%	T	56,20%	43,80%	24,00%	19,80%	5897	362	5535									
		D.C.	47,30%	52,70%	31,60%	21,10%	3471	30	3441									
		D.F.	46,20%	53,80%	33,00%	20,80%	3877	23	3854									
	50%	T	62,90%	37,10%	18,00%	19,00%	5235	1161	4074									
		D.C.	58,30%	41,70%	25,60%	16,10%	2780	69	2711									
		D.F.	56,80%	43,20%	27,40%	15,80%	3143	56	3087									
	70%	T	65,20%	34,70%	15,10%	19,70%	5222	1841	3381									
		D.C.	63,40%	36,60%	22,30%	14,30%	2446	112	2334									
		D.F.	61,20%	38,80%	24,40%	14,40%	2768	91	2677									

Apêndice H - Tabela de resultados de conforto térmico e graus-hora para configurações de cobertura

TRANSMITÂNCIA = 1 W/(m².K)										TRANSMITÂNCIA = 2 W/(m².K)									
	$\alpha$		CONF.	DESCONFORTO			GRAUS-HORA				CONF.	DESCONFORTO			GRAUS-HORA				
				TOTAL	FRIO	CALOR	TOTAL	RESFR	AQUEC			TOTAL	RESFR	AQUEC	TOTAL	RESFR	AQUEC		
$\phi = 1$ HORA	20%	T	69,70%	30,30%	18,40%	11,90%	3811	135	3676	63,40%	36,60%	22,30%	14,30%	4717	147	4570			
		D.C.	70,70%	29,30%	18,20%	11,00%	1569	25	1544	63,00%	37,00%	22,60%	14,40%	2059	23	2036			
		D.F.	72,00%	28,00%	17,90%	10,10%	1575	30	1545	64,90%	35,10%	21,50%	13,50%	2039	28	2011			
	50%	T	71,30%	28,70%	16,00%	12,70%	3310	197	3113	66,20%	33,80%	18,70%	15,10%	3900	230	3670			
		D.C.	72,80%	27,20%	16,50%	10,70%	1389	36	1353	65,00%	35,00%	20,10%	14,90%	1751	37	1714			
		D.F.	73,80%	26,20%	16,40%	9,84%	1404	41	1363	66,80%	33,20%	19,50%	13,70%	1750	43	1707			
70%	T	72,10%	27,90%	14,90%	13,00%	3093	232	2861	68,30%	31,70%	16,80%	14,90%	3585	292	3293				
	D.C.	74,10%	25,90%	15,30%	10,60%	1297	41	1256	67,50%	32,50%	18,50%	14,00%	1600	44	1556				
	D.F.	75,00%	25,00%	15,20%	9,78%	1320	47	1273	69,50%	30,50%	17,90%	12,50%	1609	50	1559				
$\phi = 2$ HORAS	20%	T	69,90%	30,10%	18,30%	11,80%	3814	132	3682	64,40%	35,60%	21,90%	13,70%	4697	144	4553			
		D.C.	71,10%	28,90%	18,00%	10,90%	1554	25	1529	64,40%	35,60%	21,80%	13,70%	1999	24	1975			
		D.F.	72,40%	27,60%	17,60%	9,96%	1559	30	1529	66,50%	33,50%	21,00%	12,50%	1979	29	1950			
	50%	T	71,10%	28,90%	16,00%	12,90%	3312	196	3116	67,00%	33,00%	18,30%	14,70%	3852	224	3628			
		D.C.	72,90%	27,10%	16,30%	10,70%	1370	36	1334	66,50%	33,50%	19,50%	14,10%	1680	39	1641			
		D.F.	74,10%	25,90%	16,20%	9,68%	1385	42	1343	68,50%	31,50%	18,50%	13,00%	1673	44	1629			
	70%	T	72,00%	28,00%	14,80%	13,20%	3091	230	2861	69,00%	31,00%	16,30%	14,70%	3522	283	3239			
		D.C.	74,40%	25,60%	15,00%	10,60%	1279	42	1237	69,20%	30,80%	17,70%	13,10%	1529	46	1483			
		D.F.	75,20%	24,80%	14,90%	9,89%	1298	47	1251	71,00%	29,00%	16,90%	12,10%	1532	51	1481			
$\phi = 3$ HORAS	20%	T	70,90%	29,10%	18,00%	11,10%	3807	127	3680	66,40%	33,60%	21,10%	12,50%	4637	131	4506			
		D.C.	72,30%	27,70%	17,60%	10,10%	1525	25	1500	67,40%	32,60%	20,70%	11,90%	1914	24	1890			
		D.F.	73,40%	26,60%	17,20%	9,34%	1530	30	1500	69,10%	30,90%	19,80%	11,10%	1894	30	1864			
	50%	T	71,90%	28,90%	16,00%	12,90%	3303	191	3112	69,50%	30,50%	17,20%	13,30%	3740	212	3528			
		D.C.	74,40%	25,60%	15,60%	10,00%	1338	37	1301	71,20%	28,80%	17,70%	11,10%	1567	40	1527			
		D.F.	75,20%	24,80%	15,60%	9,25%	1351	42	1309	72,60%	27,40%	17,20%	10,20%	1558	45	1513			
	70%	T	72,50%	27,50%	14,80%	12,70%	3079	224	2855	70,70%	29,30%	15,50%	13,80%	3379	266	3113			
		D.C.	75,30%	24,70%	14,50%	10,20%	1248	43	1205	72,60%	27,40%	16,00%	11,40%	1409	48	1361			
		D.F.	75,90%	24,10%	14,50%	9,59%	1266	48	1218	73,70%	26,30%	15,80%	10,50%	1407	51	1356			
$\phi = 4$ HORAS	20%	T	71,70%	28,30%	17,80%	10,50%	3779	113	3666	68,20%	31,80%	20,60%	11,20%	4533	108	4425			
		D.C.	73,40%	26,60%	17,10%	9,48%	1493	25	1468	69,70%	30,30%	19,70%	10,50%	1832	23	1809			
		D.F.	74,40%	25,60%	16,80%	8,72%	1499	30	1469	71,10%	28,90%	19,20%	9,68%	1810	27	1783			
	50%	T	72,70%	27,30%	15,70%	11,60%	3288	185	3103	71,60%	28,40%	16,50%	11,90%	3620	199	3421			
		D.C.	75,80%	24,20%	15,20%	9,07%	1301	37	1264	74,00%	26,00%	16,50%	9,52%	1466	40	1426			
		D.F.	76,50%	23,50%	14,90%	8,59%	1315	43	1272	75,00%	25,00%	16,10%	8,95%	1457	45	1412			
	70%	T	73,00%	27,00%	14,80%	12,20%	3051	215	2836	72,50%	27,50%	15,00%	12,50%	3233	247	2986			
		D.C.	76,60%	23,40%	13,90%	9,46%	1207	43	1164	75,60%	24,30%	14,70%	9,64%	1298	49	1249			
		D.F.	77,30%	22,70%	14,00%	8,70%	1225	47	1178	76,10%	23,90%	14,40%	9,55%	1298	52	1246			
$\phi = 5$ HORAS	20%	T	72,40%	27,60%	17,70%	9,90%	3734	99	3635	69,20%	30,80%	20,10%	10,70%	4417	90	4327			
		D.C.	74,90%	25,10%	16,60%	8,54%	1459	24	1435	70,80%	29,20%	19,10%	10,10%	1765	20	1745			
		D.F.	75,50%	24,50%	16,40%	8,04%	1465	28	1437	72,30%	27,70%	18,70%	9,02%	1747	24	1723			
	50%	T	73,30%	26,70%	15,70%	11,00%	3258	177	3081	72,60%	27,40%	16,30%	11,10%	3515	190	3325			
		D.C.	76,70%	23,30%	14,80%	8,52%	1265	36	1229	75,50%	24,50%	15,70%	8,84%	1391	38	1353			
		D.F.	77,40%	22,60%	14,50%	8,01%	1282	42	1240	76,60%	23,40%	15,30%	8,13%	1391	44	1347			
	70%	T	73,70%	26,30%	14,07%	11,60%	3018	207	2811	73,40%	26,60%	14,80%	11,80%	3122	233	2889			
		D.C.	77,70%	22,30%	13,60%	8,86%	1171	43	1128	77,33%	22,70%	13,80%	8,91%	1225	48	1177			
		D.F.	78,20%	21,70%	13,60%	8,13%	1194	48	1146	77,60%	22,30%	13,80%	8,59%	1235	51	1184			
$\phi = 6$ HORAS	20%	T	72,50%	27,50%	17,90%	9,60%	3688	89	3599	70,30%	29,70%	19,80%	9,90%	4286	77	4209			
		D.C.	75,00%	25,00%	16,40%	8,59%	1432	22	1410	71,80%	28,20%	18,70%	9,48%	1704	18	1686			
		D.F.	75,80%	24,20%	16,30%	7,92%	1440	26	1414	73,40%	26,60%	18,20%	8,36%	1691	22	1669			
	50%	T	73,90%	26,10%	15,60%	10,50%	3216	170	3046	73,30%	26,70%	16,00%	10,70%	3406	182	3224			
		D.C.	77,50%	22,50%	14,40%	8,10%	1236	35	1201	76,80%	23,20%	15,00%	8,26%	1335	36	1299			
		D.F.	78,20%	21,80%	14,30%	7,51%	1257	41	1216	77,30%	22,70%	14,80%	7,85%	1343	41	1302			
	70%	T	74,30%	25,70%	14,70%	11,00%	2983	198	2785	73,90%	26,10%	14,70%	11,40%	3032	223	2809			
		D.C.	78,30%	21,70%	13,40%	8,31%	1148	42	1106	78,20%	21,80%	13,50%	8,26%	1180	46	1134			
		D.F.	78,80%	21,20%	13,40%	7,78%	1177	46	1131	78,50%	21,50%	13,50%	8,04%	1202	50	1152			
$\phi = 7$ HORAS	20%	T	72,80%	27,20%	17,80%	9,40%	3623	80	3543	70,50%	29,50%	19,60%	9,90%	4139	67	4072			
		D.C.	75,60%	24,40%	16,30%	8,10%	1406	20	1386	72,50%	27,50%	18,30%	9,25%	1646	16	1630			
		D.F.	76,30%	23,70%	16,10%	7,65%	1417	24	1393	73,90%	26,10%	17,90%	8,20%	1638	18	1620			
	50%	T	73,80%	26,20%	15,60%	10,60%	3167	162	3005	73,60%	26,40%	15,90%	10,50%	3306	174	3132			
		D.C.	77,60%	22,40%	14,40%	8,06%	1216	34	1182	77,40%	22,60%	14,70%	7,85%	1292	34	1258			
		D.F.	78,70%	21,70%	14,20%	7,51%	1241	38	1203	78,10%	21,90%	14,40%	7,58%	1307	37	1270			
	70%	T	74,60%	25,40%	14,70%	10,70%	2944	191	2753	74,60%	25,40%	14,40%	11,00%	2952	215	2737			
		D.C.	78,70%	21,30%	13,20%	8,04%	1134	40	1094	78,40%	21,60%	13,30%	8,31%	1152	44	1108			
		D.F.	78,90%	21,10%	13,40%	7,74%	1168	45	1123	78,70%	21,30%	13,40%	7,88%	1182	48	1134			
$\phi = 8$ HORAS	20%	T	73,00%	27,00%	17,70%	9,30%	3550	73	3477	70,70%	29,30%	19,40%	9,90%	3991	59	3932			
		D.C.	75,80%	24,20%	16,10%	8,13%	1383	19	1364	73,10%	26,90%	17,90%	9,07%	1588	13	1575			
		D.F.	76,50%	23,50%	15,80%	7,67%	1396	22	1374	74,00%	26,00%	17,50%	8,45%	1586	16	1570			
	50%	T	74,10%	25,90%	15,60%	10,30%	3117	158	2959	73,90%	26,10%	15,80%	10,30%	3208	168	3040			
		D.C.	77,40%	22,60%	15,40%	7,15%	1201	32	1169	77,60%	22,40%	14,40%	7,99%	1257	32	1225			
		D.F.	78,70%	21,30%	14,00%	7,26%	1230	36	1194	78,10%	21,90%	14,20%	7,62%	1279	35	1244			
	70%	T	74,80%	25,20%	14,70%	10,50%	2902	187	2715	74,90%	25,10%	14,20%	10,90%	2878	208	2670			
		D.C.	78,80%	21,20%	13,20%	7,99%	1124	38	1086	78,50%	21,50%	13,20%	8,33%	1128	41	1087			
		D.F.	79,00%	21,00%	13,30%	7,65%	1160	43	1117	78,60%	21,40%	13,40%	7,99%	1161	44	1117			

TRANSMITÂNCIA = 1 W/(m².K)										TRANSMITÂNCIA = 2 W/(m².K)									
	q	CONF.	DESCONFORTO			GRAUS-HORA				CONF.	DESCONFORTO			GRAUS-HORA					
			TOTAL	FRIJO	CALOR	TOTAL	RESFR	AQUEC			TOTAL	FRIJO	CALOR	TOTAL	RESFR	AQUEC			
φ = 9 HORAS	20%	T	73,10%	26,90%	17,50%	9,40%	3477	68	3409		70,50%	29,50%	19,30%	10,20%	3839	54	3785		
		D.C.	76,10%	23,90%	15,80%	8,13%	1358	16	1342		73,00%	27,00%	17,70%	9,27%	1529	11	1518		
		D.F.	76,60%	23,40%	15,70%	7,74%	1374	19	1355		74,10%	25,90%	17,40%	8,54%	1532	13	1519		
	50%	T	74,50%	25,50%	15,40%	10,10%	3057	150	2907		74,50%	25,50%	15,40%	10,10%	3109	161	2948		
		D.C.	78,20%	21,80%	14,00%	7,81%	1188	31	1157		78,00%	22,00%	14,20%	7,81%	1224	30	1194		
		D.F.	78,70%	21,30%	14,00%	7,33%	1219	34	1185		78,50%	21,50%	14,20%	7,33%	1251	33	1218		
	70%	T	75,00%	25,00%	14,40%	10,60%	2854	183	2671		75,20%	24,80%	13,90%	10,90%	2805	201	2604		
		D.C.	78,90%	21,10%	13,00%	8,08%	1114	37	1077		78,90%	21,10%	12,90%	8,17%	1106	39	1067		
		D.F.	79,20%	20,80%	13,20%	7,58%	1150	41	1109		79,00%	21,00%	13,20%	7,83%	1139	41	1098		
φ = 10 HORAS	20%	T	73,30%	26,70%	17,30%	9,40%	3400	64	3336		70,80%	29,20%	19,10%	10,10%	3696	50	3646		
		D.C.	76,10%	23,90%	15,70%	8,20%	1334	15	1319		73,20%	26,80%	17,40%	9,43%	1475	10	1465		
		D.F.	76,90%	23,10%	15,50%	7,69%	1354	18	1336		74,50%	25,50%	16,80%	8,65%	1483	12	1471		
	50%	T	74,70%	25,30%	15,20%	10,10%	3000	147	2853		74,60%	25,40%	15,20%	10,20%	3021	156	2865		
		D.C.	78,40%	21,60%	13,90%	7,67%	1173	29	1144		78,30%	21,70%	13,90%	7,74%	1194	28	1166		
		D.F.	78,80%	21,20%	14,00%	7,21%	1207	33	1174		78,60%	21,40%	14,10%	7,35%	1227	32	1195		
	70%	T	75,30%	24,70%	14,10%	10,60%	2807	180	2627		75,30%	24,70%	13,80%	10,90%	2740	197	2543		
		D.C.	79,20%	20,80%	12,90%	7,90%	1102	36	1066		79,00%	21,00%	12,80%	8,20%	1082	37	1045		
		D.F.	79,30%	20,70%	13,20%	7,49%	1138	39	1099		79,10%	20,90%	13,00%	7,83%	1118	39	1079		
φ = 11 HORAS	20%	T	73,40%	26,60%	17,10%	9,50%	3326	61	3265		71,00%	29,00%	18,70%	10,30%	3562	46	3516		
		D.C.	76,20%	23,80%	15,50%	8,29%	1311	14	1297		73,30%	26,70%	17,10%	9,59%	1424	9	1415		
		D.F.	77,00%	23,00%	15,30%	7,62%	1333	17	1316		74,70%	25,30%	16,50%	8,75%	1438	12	1426		
	50%	T	74,90%	25,10%	15,00%	10,10%	2944	144	2800		74,70%	25,30%	15,10%	10,20%	2938	153	2785		
		D.C.	78,50%	21,50%	13,80%	7,69%	1159	28	1131		78,50%	21,50%	13,80%	7,67%	1165	26	1139		
		D.F.	78,80%	21,20%	13,90%	7,28%	1194	32	1162		78,80%	21,20%	13,90%	7,33%	1199	30	1169		
	70%	T	75,40%	24,60%	14,00%	10,60%	2760	178	2582		75,60%	24,40%	13,60%	10,80%	2678	193	2485		
		D.C.	79,10%	20,90%	12,80%	8,08%	1088	34	1054		79,10%	20,90%	12,70%	8,26%	1061	35	1026		
		D.F.	79,20%	20,80%	13,20%	7,55%	1127	38	1089		79,30%	20,70%	12,90%	7,85%	1098	37	1061		
TRANSMITÂNCIA = 3 W/(m².K)										TRANSMITÂNCIA = 4 W/(m².K)									
	q	CONF.	DESCONFORTO			GRAUS-HORA				CONF.	DESCONFORTO			GRAUS-HORA					
			TOTAL	FRIJO	CALOR	TOTAL	RESFR	AQUEC			TOTAL	FRIJO	CALOR	TOTAL	RESFR	AQUEC			
φ = 1 HORA	20%	T	59,10%	40,90%	24,70%	16,20%	5417	151	5266		55,90%	44,10%	26,70%	17,40%	5936	152	5784		
		D.C.	57,10%	42,90%	26,00%	16,90%	2484	22	2462		53,30%	46,70%	28,50%	18,20%	2798	21	2777		
		D.F.	59,50%	40,50%	25,00%	15,60%	2442	27	2415		55,40%	44,60%	27,40%	17,20%	2734	26	2708		
	50%	T	63,40%	36,60%	20,40%	16,20%	4411	257	4154		61,70%	38,30%	21,70%	16,60%	4793	276	4517		
		D.C.	60,90%	39,10%	22,60%	16,50%	2094	38	2056		58,60%	41,40%	24,60%	16,80%	2345	37	2308		
		D.F.	62,60%	37,40%	22,10%	15,30%	2080	43	2037		60,00%	40,00%	23,90%	16,00%	2316	43	2273		
	70%	T	65,70%	34,30%	18,40%	15,80%	4031	342	3689		63,80%	36,20%	19,50%	16,70%	4370	380	3990		
		D.C.	64,20%	35,70%	20,90%	14,90%	1898	45	1853		61,40%	38,60%	22,70%	16,00%	2123	46	2077		
		D.F.	65,80%	34,20%	20,40%	13,70%	1900	50	1850		62,90%	37,10%	22,00%	15,00%	2110	51	2059		
φ = 2 HORAS	20%	T	60,10%	39,90%	24,30%	15,60%	5374	147	5227		57,70%	42,30%	25,90%	16,40%	5820	146	5674		
		D.C.	58,80%	41,20%	25,10%	16,10%	2395	22	2373		55,80%	44,20%	27,10%	17,10%	2621	23	2598		
		D.F.	60,90%	39,10%	24,00%	15,10%	2352	28	2324		58,50%	41,50%	25,80%	15,60%	2555	28	2527		
	50%	T	63,60%	36,40%	20,10%	16,30%	4337	252	4085		62,00%	38,00%	21,00%	17,00%	4602	266	4336		
		D.C.	62,00%	38,00%	22,10%	16,00%	1991	40	1951		59,70%	40,30%	23,50%	16,80%	2142	42	2100		
		D.F.	63,80%	36,20%	21,10%	15,10%	1968	45	1923		61,90%	38,10%	22,50%	15,60%	2100	47	2053		
	70%	T	66,70%	33,30%	17,90%	15,40%	3947	336	3611		65,70%	34,30%	18,40%	15,90%	4149	366	3783		
		D.C.	65,10%	34,90%	20,20%	14,70%	1797	48	1749		63,90%	36,10%	21,00%	15,20%	1913	52	1861		
		D.F.	67,10%	32,90%	19,30%	13,60%	1787	53	1734		65,60%	34,40%	20,10%	14,20%	1884	56	1828		
φ = 3 HORAS	20%	T	62,20%	37,80%	23,60%	14,20%	5268	139	5129		61,70%	38,30%	24,30%	14,00%	5615	134	5481		
		D.C.	61,80%	38,20%	23,50%	14,70%	2248	24	2224		61,00%	39,00%	24,30%	14,70%	2402	25	2377		
		D.F.	64,20%	35,80%	22,70%	13,10%	2202	30	2172		63,90%	36,10%	23,00%	13,20%	2333	30	2303		
	50%	T	66,10%	33,90%	19,00%	14,90%	4143	238	3905		66,70%	33,30%	19,00%	14,30%	4221	242	3979		
		D.C.	65,60%	34,40%	20,20%	14,10%	1803	42	1761		66,80%	33,20%	20,00%	13,10%	1825	45	1780		
		D.F.	67,90%	32,10%	19,30%	12,90%	1774	47	1727		69,00%	31,00%	19,00%	12,00%	1776	49	1727		
	70%	T	68,50%	31,50%	16,80%	14,70%	3725	314	3411		69,30%	30,70%	16,50%	14,20%	3720	326	3394		
		D.C.	68,80%	31,20%	18,20%	13,00%	1609	52	1557		69,90%	30,10%	17,90%	12,20%	1593	57	1536		
		D.F.	70,70%	29,30%	17,30%	12,00%	1589	55	1534		72,00%	28,00%	16,80%	11,20%	1555	58	1497		
φ = 4 HORAS	20%	T	64,80%	35,20%	22,60%	12,60%	5144	123	5021		64,50%	35,50%	23,50%	12,00%	5407	110	5297		
		D.C.	65,30%	34,70%	21,90%	12,80%	2120	24	2096		65,20%	34,80%	22,60%	12,10%	2246	23	2223		
		D.F.	67,60%	32,40%	20,90%	11,50%	2074	29	2045		67,40%	32,60%	21,60%	11,00%	2186	28	2158		
	50%	T	69,80%	30,20%	17,40%	12,80%	3907	220	3687		70,40%	29,60%	17,30%	12,30%	3924	221	3703		
		D.C.	71,60%	28,40%	17,50%	10,90%	1610	44	1566		72,90%	27,10%	17,30%	9,82%	1610	46	1564		
		D.F.	73,40%	26,60%	17,00%	9,57%	1580	48	1532		74,20%	25,80%	16,70%	9,11%	1572	49	1523		
	70%	T	71,00%	29,00%	15,60%	13,40%	3435	286	3149		71,40%	28,60%	15,30%	13,30%	3368	290	3078		
		D.C.	73,40%	26,60%	15,60%	11,00%	1401	55	1346		74,70%	25,30%	14,90%	10,30%	1354	58	1296		
		D.F.	74,40%	25,60%	15,40%	10,30%	1381	56	1325		75,40%	24,50%	14,70%	9,87%	1332	58	1274		
φ = 5 HORAS	20%	T	66,90%	33,10%	22,10%	11,00%	4986	98	4888		66,10%	33,90%	22,90%	11,00%	5188	86	5102		
		D.C.	68,70%	31,30%	20,80%	10,50%	2018	22	1996		67,70%	32,30%	21,50%	10,70%	2129	20	2109		
		D.F.	70,30%	29,70%	20,10%	9,62%	1978	27	1951		69,70%	30,30%	20,70%	9,59%	2080	24	2056		
	50%	T	71,50%	28,50%	16,70%	11,80%	3737	207	3530		72,10%	27,90%	16,70%	11,20%	3733	207	3526		
		D.C.	74,30%	25,70%	16,50%	9,27%	1487	44	1443		75,00%	25,00%	16,10%	8,88%	1493	43	1450		
		D.F.	75,40%	24,60%	15,90%	8,65%	1467	48	1419		76,00%	24,00%	15,80%	8,29%	1475	47	1428		
	70%	T	72,50%	27,50%	14,90%	12,60%	3249	263	2986		73,10%	26,90%	14,70%	12,30%	3180	267	2913		
		D.C.	76,20%	23,80%	14,10%	9,75%	1276	55	1221		77,00%	23,00%	13,70%	9,27%	1249	57	1192		
		D.F.	76,80%	23,20%	13,90%	9,29%	1271	55	1216		77,60%	22,40%	13,60%	8,84%	1252	57	1195		



TRANSMITÂNCIA = 3 W/(m².K)

TRANSMITÂNCIA = 4 W/(m².K)

	<i>a</i>		CONF.	DESCONFORTO			GRAUS-HORA				CONF.	DESCONFORTO			GRAUS-HORA		
				TOTAL	FRIO	CALOR	TOTAL	RESFR	AQUEC			TOTAL	FRIO	CALOR	TOTAL	RESFR	AQUEC
$\phi = 6$ HORAS	20%	T	68,10%	31,90%	21,30%	10,30%	4822	81	4741		67,20%	32,80%	22,20%	10,60%	4958	72	4886
		D.C.	70,10%	29,90%	20,20%	9,73%	1940	20	1920		68,90%	31,10%	20,90%	10,20%	2028	17	2011
		D.F.	71,50%	28,50%	19,70%	8,88%	1906	24	1882		70,60%	29,40%	20,20%	9,18%	1990	20	1970
	50%	T	72,60%	27,40%	16,40%	11,00%	3606	196	3410		72,80%	27,20%	16,50%	10,70%	3580	197	3383
		D.C.	75,80%	24,20%	14,80%	9,34%	1413	41	1372		76,10%	23,90%	15,50%	8,40%	1422	40	1382
		D.F.	76,90%	23,10%	15,20%	7,94%	1407	45	1362		76,90%	23,10%	15,30%	7,85%	1419	44	1375
	70%	T	73,70%	26,30%	14,60%	11,70%	3122	248	2874		74,00%	26,00%	14,50%	11,50%	3057	253	2804
		D.C.	77,70%	22,30%	13,50%	8,81%	1209	53	1156		78,30%	21,60%	13,30%	8,38%	1198	54	1144
		D.F.	78,30%	21,70%	13,40%	8,33%	1223	54	1169		78,30%	21,70%	13,30%	8,38%	1215	55	1160
$\phi = 7$ HORAS	20%	T	68,80%	31,20%	21,00%	10,20%	4655	70	4585								
		D.C.	70,60%	29,40%	19,70%	9,78%	1871	17	1854								
		D.F.	72,00%	28,00%	19,30%	8,70%	1846	21	1825								
	50%	T	73,20%	26,80%	16,30%	10,50%	3487	189	3298								
		D.C.	76,80%	23,20%	15,10%	8,13%	1362	38	1324								
		D.F.	77,60%	22,40%	14,90%	7,49%	1368	42	1326								
	70%	T	74,20%	25,80%	14,50%	11,30%	3025	239	2786								
		D.C.	78,60%	21,40%	13,20%	8,13%	1175	51	1124								
		D.F.	78,80%	21,20%	13,20%	8,01%	1198	53	1145								
$\phi = 8$ HORAS	20%	T	69,10%	30,90%	20,80%	10,10%	4479	62	4417								
		D.C.	70,90%	29,10%	19,50%	9,64%	1803	15	1788								
		D.F.	72,60%	27,40%	18,90%	8,54%	1784	17	1767								
	50%	T	73,20%	26,80%	16,10%	10,70%	3374	183	3191								
		D.C.	77,10%	22,90%	14,80%	8,06%	1323	36	1287								
		D.F.	77,80%	22,20%	14,60%	7,60%	1337	39	1298								
	70%	T	74,70%	25,30%	14,30%	11,10%	2944	232	2712								
		D.C.	78,90%	21,10%	13,00%	8,08%	1151	48	1103								
		D.F.	78,90%	21,10%	13,10%	7,99%	1181	50	1131								
$\phi = 9$ HORAS	20%	T	69,20%	30,80%	20,60%	10,20%	4302	56	4246								
		D.C.	71,10%	28,90%	19,00%	9,89%	1735	12	1723								
		D.F.	72,80%	27,20%	18,50%	8,63%	1725	15	1710								
	50%	T	73,80%	26,20%	15,80%	10,40%	3261	178	3083								
		D.C.	77,70%	22,30%	14,50%	7,83%	1287	34	1253								
		D.F.	78,50%	21,50%	14,20%	7,26%	1309	37	1272								
	70%	T	75,10%	24,90%	13,90%	11,00%	2870	228	2642								
		D.C.	79,00%	21,00%	12,80%	8,17%	1131	46	1085								
		D.F.	79,20%	20,80%	13,10%	7,72%	1164	48	1116								
$\phi = 10$ HORAS	20%	T	69,00%	31,00%	20,60%	10,50%	4130	51	4079								
		D.C.	71,30%	28,70%	18,90%	9,78%	1669	10	1659								
		D.F.	72,70%	27,30%	18,30%	9,00%	1665	13	1652								
	50%	T	74,30%	25,70%	15,60%	10,10%	3163	173	2990								
		D.C.	78,10%	21,90%	14,20%	7,74%	1257	32	1225								
		D.F.	78,60%	21,40%	14,20%	7,21%	1284	35	1249								
	70%	T	75,30%	24,70%	13,80%	10,90%	2803	224	2579								
		D.C.	79,10%	20,90%	12,70%	8,20%	1110	43	1067								
		D.F.	79,20%	20,80%	13,00%	7,83%	1145	45	1100								
$\phi = 11$ HORAS	20%	T	69,20%	30,80%	20,50%	10,30%	3961	48	3913								
		D.C.	71,40%	28,60%	18,50%	10,10%	1603	9	1594								
		D.F.	72,60%	27,40%	18,20%	9,18%	1605	12	1593								
	50%	T	74,70%	25,30%	15,30%	10,00%	3068	169	2899								
		D.C.	78,20%	21,80%	14,00%	7,76%	1224	29	1195								
		D.F.	78,80%	21,20%	14,10%	7,14%	1255	33	1222								
	70%	T	75,40%	24,60%	13,50%	11,00%	2734	220	2514								
		D.C.	79,10%	20,90%	12,60%	8,31%	1086	41	1045								
		D.F.	79,30%	20,70%	12,90%	7,76%	1123	43	1080								



## TRANSMITÂNCIA = 5 W/(m².K)

$\alpha$		CONF.	DESCONFORTO			GRAUS-HORA		
			TOTAL	FRIO	CALOR	TOTAL	RESFR	AQUEC
20%	T	54,00%	46,00%	27,80%	18,20%	6319	152	6167
	D.C.	50,50%	49,50%	29,90%	19,60%	3018	20	2998
	D.F.	52,80%	47,20%	29,00%	18,20%	2939	26	2913
50%	T	59,90%	40,10%	22,70%	17,40%	5069	291	4778
	D.C.	56,00%	44,00%	25,90%	18,00%	2522	38	2484
	D.F.	57,90%	42,10%	25,30%	16,90%	2478	43	2435
70%	T	62,60%	37,40%	20,30%	17,10%	4613	411	4202
	D.C.	59,30%	40,70%	24,00%	16,70%	2275	48	2227
	D.F.	61,00%	38,90%	23,40%	15,50%	2249	53	2196
20%	T	57,80%	42,20%	26,40%	15,80%	6056	141	5915
	D.C.	52,80%	47,20%	29,00%	18,20%	2702	24	2678
	D.F.	58,70%	41,30%	26,40%	14,90%	2616	29	2587
50%	T	62,90%	37,10%	20,80%	16,30%	4628	268	4360
	D.C.	60,90%	39,10%	23,10%	16,00%	2131	45	2086
	D.F.	63,30%	36,70%	22,00%	14,70%	2068	49	2019
70%	T	66,20%	33,80%	18,10%	15,70%	4116	375	3741
	D.C.	64,80%	35,20%	20,60%	14,60%	1877	57	1820
	D.F.	67,10%	32,90%	19,50%	13,40%	1827	58	1769
20%	T	61,80%	38,20%	24,80%	13,40%	5762	121	5641
	D.C.	61,90%	38,10%	24,40%	13,80%	2450	24	2426
	D.F.	64,60%	35,40%	23,00%	12,40%	2373	29	2344
50%	T	68,60%	31,40%	18,20%	13,20%	4116	235	3881
	D.C.	69,90%	30,10%	18,90%	11,20%	1745	47	1698
	D.F.	71,60%	28,40%	17,90%	10,50%	1691	50	1641
70%	T	70,60%	29,40%	15,80%	13,60%	3525	317	3208
	D.C.	72,70%	27,30%	16,30%	11,00%	1469	61	1408
	D.F.	74,00%	25,90%	15,60%	10,30%	1460	60	1400

## LEGENDA

$\alpha$	Absortância
$\varphi$	Atraso Térmico
T	Total da Habitação
D.C.	Dormitório do Casal
D.F.	Dormitório dos Filhos
RESFR	Resfriamento
AQUEC	Aquecimento

Apêndice I - Gráficos de interpolação dos valores de transmitância térmica e conforto térmico para HIS

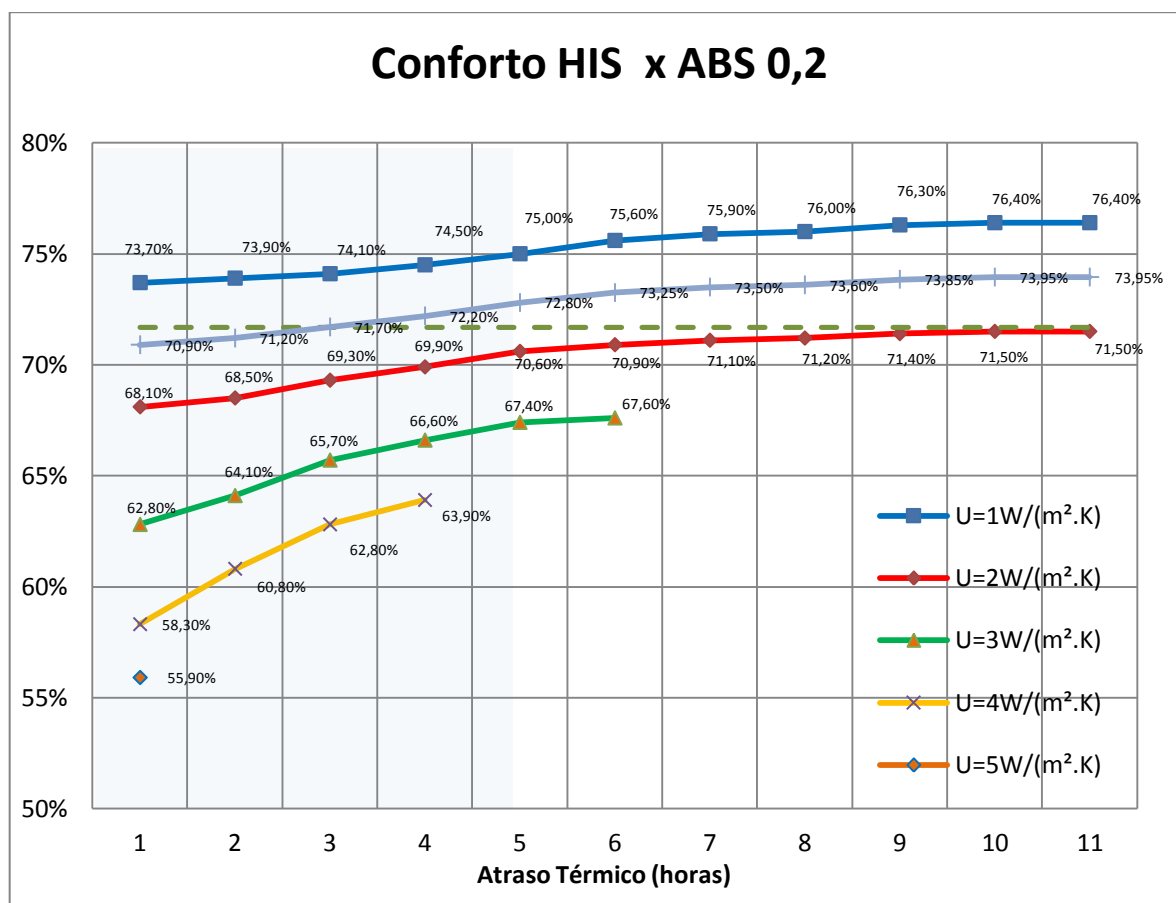


Figura 81 - Conforto total da HIS para paredes de absorvância 0,2 (interpolação de transmitância térmica)

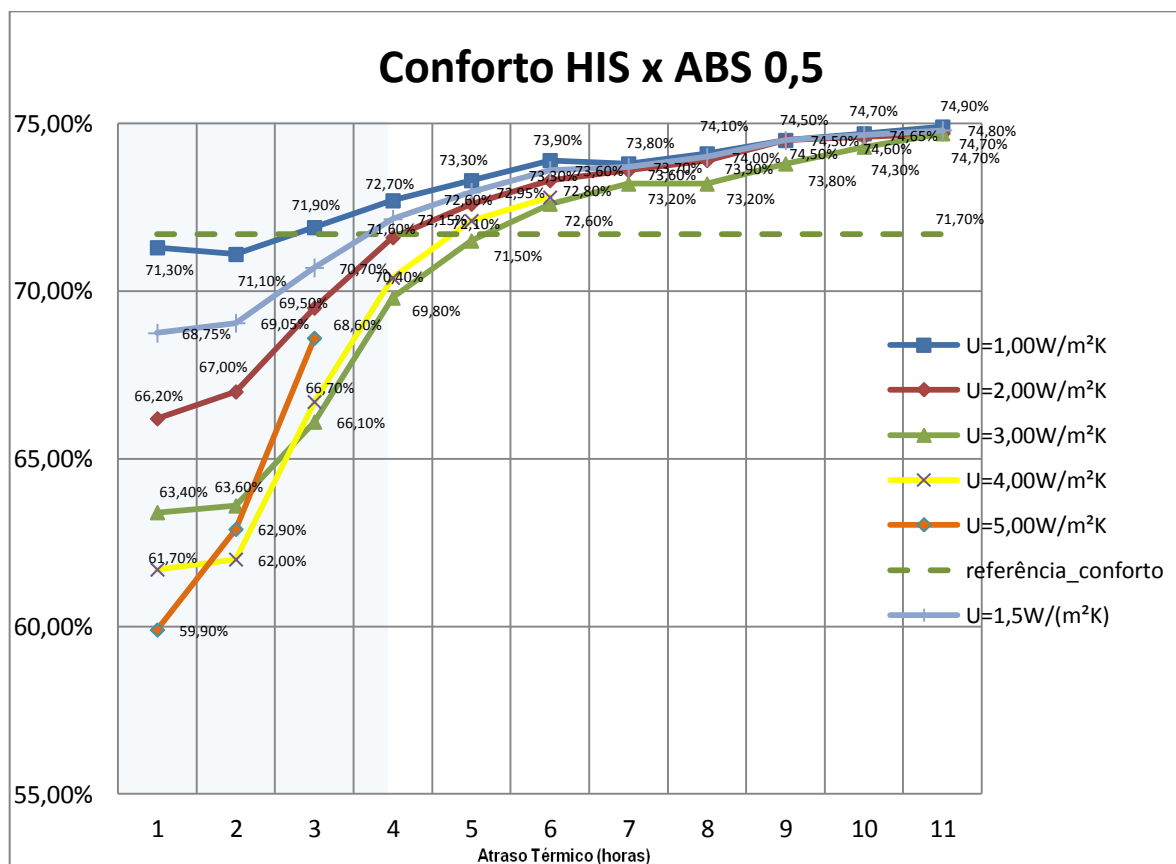


Figura 82 -Conforto total da HIS para coberturas de absortância 0,5 (interpolação de transmitância térmica)