

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
NORIE - NÚCLEO ORIENTADO PARA A INOVAÇÃO DA EDIFICAÇÃO**

**MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO
HIGROTÉRMICO DE HABITAÇÕES TÉRREAS
UNIFAMILIARES DE INTERESSE SOCIAL PARA PORTO
ALEGRE - RS**

Giane de Campos Grigoletti

Porto Alegre
2007

GIANE DE CAMPOS GRIGOLETTI

**MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO
HIGROTÉRMICO DE HABITAÇÕES TÉRREAS
UNIFAMILIARES DE INTERESSE SOCIAL PARA PORTO
ALEGRE - RS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia

Porto Alegre

2007

G857c Grigoletti, Giane de Campos

Contribuição para a avaliação de desempenho higrotérmico de habitações térreas unifamiliares de interesse social para Porto Alegre - RS / Giane de Campos Grigoletti. - 2007.

Tese (Doutor em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, BR-RS, 2007.

Orientação: Prof. Dr. Miguel Aloysio Sattler.

1. Desempenho higrotérmico. 2. Avaliação de desempenho. 3. Habitação popular. I. Sattler, Miguel Aloysio, orient. II. Título.

CDU –69:658(043)

GIANE DE CAMPOS GRIGOLETTI

**MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO
HIGROTÉRMICO DE HABITAÇÕES TÉRREAS
UNIFAMILIARES DE INTERESSE SOCIAL PARA PORTO
ALEGRE - RS**

Esta Tese de Doutorado foi julgada adequada para a obtenção do título de DOUTOR EM ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 19 de dezembro de 2007

Prof. Miguel Aloysio Sattler
PhD pela University of Sheffield
Orientador

Prof. Fernando Schnaid
Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Roberto Lamberts (UFSC)
PhD pela University of Leeds, Inglaterra

Prof. Antônio César Silveira Baptista da Silva (UFPel)
Dr. pela Universidade de Santa Catarina, Brasil

Profa. Ana Luiza Raabe Abitante (UFRGS)
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

AGRADECIMENTOS

Agradeço a CAPES pela bolsa de estudos que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço ao Prof. Miguel Aloysio Sattler pela sua orientação e estímulo constantes durante todo o desenvolvimento do doutorado.

Agradeço aos professores e pesquisadores Diana Isabel Schossler do Canto, Heitor da Costa Silva, Joaquim César Pizzutti da Silva, Luís Carlos Bonin, Maria de Fátima Becker e Nelson Turik pelo interesse e colaboração demonstrados durante o desenvolvimento da pesquisa.

Agradeço ao Departamento de Arquitetura e Urbanismo da UFSM e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia da UFRGS pelo apoio sem o qual a conclusão do estudo não seria possível.

Agradeço a todos aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram com suas sugestões, críticas e informações, fundamentais para a conclusão da pesquisa.

RESUMO

GRIGOLETTI, G. de Campos. **Método de avaliação de desempenho higrotérmico de habitações térreas unifamiliares de interesse social para Porto Alegre - RS.** 2007. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2007.

Recentemente foram aprovadas normas para requisitos e critérios de desempenho térmico de habitações de interesse social. Estas normas são importantes para a melhoria do desempenho térmico dessas habitações no Brasil. No entanto, a abordagem adotada é geral no que diz respeito às regiões bioclimáticas brasileiras e a análise é feita para sistemas da edificação (aberturas, paredes, cobertura) isoladamente, o que pode não expressar o comportamento térmico para determinadas condições climáticas. O presente estudo apresenta uma proposta de método de avaliação de desempenho higrotérmico de habitações térreas unifamiliares de interesse social para condições climáticas de Porto Alegre, RS, que visa à avaliação global da edificação através de requisitos e critérios que complementam aqueles propostos pelas normas e que sejam de fácil aplicação pelos envolvidos no processo de produção de habitações de interesse social. Considera-se a possibilidade de condensação sobre superfícies internas da edificação, coeficientes volumétricos globais de perda e ganho de calor através de sua envolvente, inércia térmica, entre outros, obtidos da literatura e da análise de quatro habitações construídas em Porto Alegre, duas submetidas a medições *in loco* e duas consideradas como referência para habitação de interesse social para as condições econômicas e culturais do público-alvo, segundo agentes ligados ao setor em Porto Alegre. O método foi submetido à opinião de agentes, envolvidos com o financiamento, projeto, execução, fiscalização e avaliação de habitações de interesse social em Porto Alegre, e a especialistas da área de conforto térmico atuando em instituições de ensino e pesquisa nacionais. São indicados três graus de qualidade que podem ser atingidos pelas habitações, de acordo com a disponibilidade de recursos para a construção da habitação. O método pode ser uma ferramenta auxiliar na tomada de decisão no processo de projeto, aprovação e avaliação de habitações de interesse social pelos agentes públicos ligados ao setor.

Palavras-chave: desempenho higrotérmico; habitação de interesse social; avaliação de desempenho.

ABSTRACT

GRIGOLETTI, G. de C. **Método de avaliação de desempenho higrotérmico de habitações térreas unifamiliares de interesse social para Porto Alegre - RS.** 2007. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2007.

Recently, low cost housing thermal performance standards were developed and approved in Brazil. These standards establish requirements and criteria that low cost housing must satisfy. However, the approach used generally deals with climatic conditions and the evaluation is based on analysis of individual components. This approach cannot express the real thermal behaviour of housing. This study presents a thermal performance evaluation method for low cost single-family one-floor housing considering the climatic conditions of Porto Alegre, Brazil. The method aims toward a global evaluation of housing through requirements and criteria that complement the standards approved recently and it considers mathematical procedures that can be easily applied by government agents involved in this task. Inner surface condensation, global flow heat coefficients, thermal inertia, among others, obtained from literature, are proposed. Four low cost houses built in Porto Alegre, considered to be references according to social and economic local reality, were evaluated through the method. Government agents involved in the project, design, financing, building, overseeing and evaluation of low cost housing in Porto Alegre and experts from research institutes in Brazil also gave their opinions of the method. Three degrees of performance for housing, in accordance with availability of government resources, are defined. The method can be used as an evaluation of possible solutions, thereby aiding decision makers.

Key words: hygrothermal performance; low cost housing; performance evaluation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Diagrama ilustrativo do método adotado na pesquisa	6
Figura 2.1: Divisão climática do Rio Grande do Sul	37
Figura 2.2: Frequência mensal da direção do vento para Porto Alegre	43
Figura 2.3: Zona bioclimática proposta por Givoni para países de clima frio e clima quente	58
Figura 2.4: Fluxo de calor através de pisos diretamente apoiados sobre o solo	61
Figura 2.5: Valores de transmitância térmica U para pisos apoiados no solo	61
Figura 2.6: Posição relativa perpendicular entre o plano infinitesimal e a superfície sendo submetida à análise de temperatura radiante plana	72
Figura 2.7: Posição relativa paralela entre o plano infinitesimal e a superfície sendo submetida à análise de temperatura radiante plana	73
Figura 2.8: Ângulo formado entre a direção do vento incidente sobre uma fachada e a normal desta fachada	93
Figura 3.1: Planta baixa e corte do protótipo Aglotec	103
Figura 3.2: Planta baixa e corte do protótipo Alvorada	119
Figura 3.1: Planta baixa e corte do projeto-referência 1	139
Figura 4.1: Temperatura do ar externo t_e e temperaturas do ar interno t_i nos cômodos sala, dormitório a Nordeste e dormitório sudoeste do protótipo Aglotec	167
Figura 4.2: Temperatura do ar externo t_e e do ar interno t_i para os cômodos sala, dormitório nordeste e sudoeste, para os dias 22 de maio a 24 de maio	167
Figura 4.3: Comportamento térmico do protótipo Alvorada entre 28 de julho e 03 de agosto de 2003	174
Figura 4.4: Comportamento térmico do protótipo Alvorada entre 03 de janeiro e 14 de janeiro de 2003	175
Figura 4.5: Comportamento térmico do protótipo Alvorada entre 14 de agosto e 28 de agosto de 2003	176
Figura 4.6: Comportamento térmico do protótipo Alvorada entre 28 de agosto e 07 de setembro de 2003	177
Figura 4.7: Temperatura do ar externo t_e , e do ar interno t_i para o protótipo Alvorada entre 24 de abril e 30 de abril de 2004.....	180

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Zonas bioclimáticas que abrangem o Rio Grande do Sul.....	15
Tabela 2.2: Critérios para avaliação de desempenho higrotérmico segundo ABNT ...	19
Tabela 2.3: Exigências de desempenho higrotérmico para verão e inverno	24
Tabela 2.4: Método de avaliação de desempenho térmico para habitações de interesse social proposto por SILVA e BASSO	30
Tabela 2.5: Método de avaliação de desempenho térmico para habitações de interesse social proposto por AKUTSU, VITTORINO e PEDROSO	34
Tabela 2.6: Normais Climatológicas no período de 1961 a 1990, para Porto Alegre...	39
Tabela 2.7: Valores de temperatura BIN anuais para Porto Alegre, tomados em períodos diários de seis horas	40
Tabela 2.8: Velocidade dos ventos para Porto Alegre, de acordo com sua frequência de ocorrência, e valores médios mensais e anuais	42
Tabela 2.9: Frequência mensal da direção dos ventos para Porto Alegre	43
Tabela 2.10: Dados de dias típicos de verão e inverno para Porto Alegre, segundo ABNT	45
Tabela 2.11: Propriedades físicas e térmicas para a parede padrão das condições culturais de habitação de interesse social no RS	47
Tabela 2.12: Propriedades térmicas de paredes do padrão adotado como referência cultural para Porto Alegre	48
Tabela 2.13: Exigências higrotérmicas de inverno e verão	56
Tabela 2.14: Coeficiente de inércia $\text{coef}_{\text{inércia}}$ e grau de inércia térmica de uma edificação	82
Tabela 2.15: Classificação da inércia térmica de uma edificação a partir do coeficiente de superfície pesada equivalente coef_{SPE}	83
Tabela 2.16: Resumo dos parâmetros térmicos adotados no estudo	88
Tabela 2.17: Coeficientes de redução devido ao uso de anteparos	92
Tabela 2.18: Valores dos coeficientes K e a em função da densidade urbana	92
Tabela 2.19: Diferença entre os coeficientes ΔC_p do vento para edificações em campo aberto	93
Tabela 2.20: Coeficiente corrigido de pressão do vento para loteamentos	94
Tabela 2.21: Área útil em função da área do vão da abertura para algumas janelas mais usuais	94
Tabela 2.22: Fluxo de calor hipotético gerado pela ocupação da habitação	97
Tabela 2.23: Resumo das seis abordagens de avaliação de desempenho higrotérmico apresentadas neste estudo	99
Tabela 3.1: Área dos cômodos, total e das aberturas e sua percentagens em relação à área do piso para o protótipo Aglotec	104

Tabela 3.2: Área dos fechamentos opacos verticais e horizontais do protótipo Aglotec	104
Tabela 3.3: Características físicas da envolvente - Aglotec	105
Tabela 3.4: Parâmetros térmicos dos fechamentos do protótipo Aglotec	106
Tabela 3.5: Coeficientes volumétricos parciais e total de perda térmica GV_i e $GV_{inverno}$ para o protótipo Aglotec	107
Tabela 3.6: Valores de temperatura superficial interna t_{si} para o protótipo Aglotec e análise da possibilidade de condensação	108
Tabela 3.7: Valores de temperatura radiante plana T_{rp} e assimetria de radiação térmica ΔT_{rp} para o protótipo Aglotec para a situação de inverno	109
Tabela 3.8: Temperatura radiante plana T_{rp} e a assimetria de radiação térmica ΔT_{rp} para o protótipo Aglotec, para a situação de verão	109
Tabela 3.9: Fluxo máximo de calor $Q_{máx}$ e coeficientes volumétricos parciais de ganho de calor GV_i para o protótipo Aglotec	110
Tabela 3.10: Características físicas e térmicas dos fechamentos externos e das partições internas do protótipo Aglotec e coeficientes de inércia $coef_{inércia}$..	111
Tabela 3.11: Características físicas e térmicas das partições internas e fechamentos externos dos cômodos do protótipo Aglotec e sua respectiva efusividade térmica do ambiente ef_{amb}	113
Tabela 3.12: Áreas dos fechamentos do protótipo Aglotec por orientação solar	115
Tabela 3.13: Taxas da envolvente para o protótipo Aglotec	115
Tabela 3.14: Variáveis que definem o fluxo de ar Φ_{ar} , para o protótipo Aglotec, por ação do vento e por diferença de temperatura	116
Tabela 3.15: Tipos de partições internas, áreas e capacidades térmicas para o protótipo Aglotec	117
Tabela 3.16: Tempo necessário para redução da temperatura das partições internas em 2,0°C pelo fluxo de ar promovido pela ventilação natural para o protótipo Aglotec	118
Tabela 3.17: Área dos cômodos, total e das aberturas e sua percentagens em relação à área do piso para o protótipo Alvorada	119
Tabela 3.18: Área dos fechamentos opacos verticais e horizontais do protótipo Alvorada	120
Tabela 3.19: Características físicas da envolvente – Alvorada	121
Tabela 3.20: Parâmetros térmicos dos fechamentos do protótipo Alvorada	123
Tabela 3.21: Coeficientes volumétricos parciais e total de perda térmica GV_i e $GV_{inverno}$ para o protótipo Alvorada	125
Tabela 3.22: Valores de temperatura superficial interna t_{si} para os diferentes fechamentos do protótipo Alvorada e sua análise comparativa com a temperatura de ponto de orvalho $t_{orvalho}$	126

Tabela 3.23: Valores de temperatura radiante plana T_{rp} e assimetria da radiação térmica ΔT_{rp} para o protótipo Alvorada para a situação de inverno	127
Tabela 3.24: Valores de temperatura radiante plana T_{rp} e assimetria da radiação térmica ΔT_{rp} para o protótipo Alvorada para a situação de verão	128
Tabela 3.25: Fluxo máximo de calor $Q_{m\acute{a}x}$, e coeficientes volumétricos parciais de ganho de calor GV_i para o protótipo Alvorada	128
Tabela 3.26: Características físicas, relação massa e área dos fechamentos externos e das partições internas do protótipo Alvorada e seus respectivos coeficientes de inércia $coef_{in\acute{e}rcia}$	130
Tabela 3.27: Características físicas das partições internas e fechamentos externos dos cômodos do protótipo Alvorada e sua respectiva efusividade térmica do ambiente ef_{amb}	132
Tabela 3.28: Áreas dos fechamentos do protótipo Alvorada	133
Tabela 3.29: Taxas da envolvente para o protótipo Alvorada	134
Tabela 3.30: Variáveis que definem o fluxo de ar Φ_{ar} , para o protótipo Alvorada, por ação do vento e por diferença de temperatura	135
Tabela 3.31: Tipos de partições internas, áreas e capacidades térmicas para o protótipo Alvorada	136
Tabela 3.32: Tempo necessário para redução da temperatura das partições internas em 2,0°C pelo fluxo de ar promovido pela ventilação natural para o protótipo Alvorada	137
Tabela 3.33: Descrição física das paredes, cobertura e pisos do projeto-referência 1 .	139
Tabela 3.34: Áreas nominais úteis das esquadrias do projeto-referência 1 e a sua relação com a área do piso dos cômodos	140
Tabela 3.35: Parâmetros térmicos dos fechamentos do projeto-referência 1	141
Tabela 3.36: Descrição física das paredes e cobertura do projeto-referência 2	142
Tabela 3.37: Parâmetros térmicos dos fechamentos do projeto-referência 2	142
Tabela 3.38: Coeficientes volumétricos parciais e total de perda térmica GV_i e $GV_{inverno}$ para o projeto-referência 1	143
Tabela 3.39: Valores de temperatura superficial interna t_{si} para os diferentes fechamentos do projeto-referência 1 e sua análise comparativa com a temperatura de ponto de orvalho $t_{orvalho}$	144
Tabela 3.40: Valores de temperatura radiante plana T_{rp} e assimetria da radiação térmica ΔT_{rp} para o projeto-referência 1 para a situação de inverno	145
Tabela 3.41: Valores de temperatura radiante plana T_{rp} e assimetria da radiação térmica ΔT_{rp} para o projeto-referência 1 para a situação de verão	145
Tabela 3.42: Fluxo máximo de calor $Q_{m\acute{a}x}$, e coeficientes volumétricos parciais de ganho de calor GV_i para o projeto-referência 1	146
Tabela 3.43: Características físicas, relação massa e área dos fechamentos externos e das partições internas do projeto-referência 1 e seus respectivos coeficientes de inércia $coef_{in\acute{e}rcia}$	148

Tabela 3.44: Características físicas das partições internas e fechamentos externos dos cômodos do projeto-referência 1 e sua respectiva efusividade térmica do ambiente e_{famb}	149
Tabela 3.45: Taxas da envolvente para o projeto-referência 1	150
Tabela 3.46: Variáveis que definem o fluxo de ar Φ_{ar} , para o projeto-referência 1, por ação do vento e por diferença de temperatura	151
Tabela 3.47: Tipos de partições internas, áreas e capacidades térmicas para o projeto-referência 1	152
Tabela 3.48: Tempo necessário para redução da temperatura das partições internas em 2,0°C pelo fluxo de ar promovido pela ventilação natural para o projeto-referência 1	152
Tabela 3.49: Coeficientes volumétricos parciais e total de perda térmica GV_i e $GV_{inverno}$ para o projeto-referência 2	153
Tabela 3.50: Valores de temperatura superficial interna t_{si} para os diferentes fechamentos do projeto-referência 2 e sua análise comparativa com a temperatura de ponto de orvalho $t_{orvalho}$	154
Tabela 3.51: Valores de temperatura radiante plana T_{rp} e assimetria da radiação térmica ΔT_{rp} para o projeto-referência 2 para a situação de inverno	154
Tabela 3.52: Valores de temperatura radiante plana T_{rp} e assimetria da radiação térmica ΔT_{rp} para o projeto-referência 2 para a situação de verão	155
Tabela 3.53: Fluxo máximo de calor $Q_{m\acute{a}x}$, e coeficientes volumétricos parciais de ganho de calor GV_i para o projeto-referência 2	155
Tabela 3.54: Características físicas, relação massa e área dos fechamentos externos e das partições internas do projeto-referência 2 e seus respectivos coeficientes de inércia $coef_{in\acute{e}rcia}$	157
Tabela 3.55: Características físicas das partições internas e fechamentos externos dos cômodos do projeto-referência 2 e sua respectiva efusividade térmica do ambiente e_{famb}	157
Tabela 3.56: Tipos de partições internas, áreas e capacidades térmicas para o projeto-referência 2	159
Tabela 3.57: Tempo necessário para redução da temperatura das partições internas em 2,0°C pelo fluxo de ar promovido pela ventilação natural para o projeto-referência 2	159
Tabela 3.58: Resultados obtidos para os protótipos Aglotec, Alvorada e projetos-referência 1 e 2	160
Tabela 4.1: Critérios utilizados por BECKER para classificação dos dias em quente, de conforto, frio e de variação superior a 15,0 °C	165
Tabela 4.2: Graus-hora g_{hora} e graus-médios $g_{m\acute{e}dio}$ para o protótipo Aglotec	172
Tabela 4.3: Graus-hora g_{hora} e graus-médios $g_{m\acute{e}dio}$ para o protótipo Alvorada	180
Tabela 5.1: Respostas obtidas junto aos agentes do grupo 1	192
Tabela 5.2: Respostas obtidas junto aos especialistas do grupo 2	196

Tabela 5.3: Respostas dos especialistas às questões gerais relativas aos problemas verificados para situação de inverno e verão para as habitações de interesse social	197
Tabela 5.4: Respostas dos especialistas às questões gerais relativas aos problemas relacionados ao projeto de habitações de interesse social	198
Tabela 5.5: Importância conferida pelos especialistas aos parâmetros térmicos e requisitos propostos no método	200
Tabela 5.6: Classificação dos requisitos propostos por ordem de relevância apontada pelos especialistas consultados	205
Tabela 5.7: Estratégias bioclimáticas para Porto Alegre e suas respectivas percentagens de horas de desconforto	206
Tabela 6.1: Ajustes propostos para os protótipos Aglotec e Alvorada	207
Tabela 6.2: Parâmetros térmicos ajustados para o protótipo Aglotec	209
Tabela 6.3: Resultados obtidos para os quatro projetos selecionados	210
Tabela 6.4: Conclusões obtidas a partir da análise de parâmetros térmicos	211
Tabela 6.5: Conclusões obtidas a partir dos resultados das medições in loco para os protótipos Aglotec e Alvorada	213
Tabela 6.6: Conclusões a partir dos resultados obtidos junto aos agentes do setor público	214
Tabela 6.7: Justificativa para inclusão ou exclusão de cada parâmetro inicialmente proposto	216
Tabela 6.8: Justificativa para os critérios propostos e sua ponderação	220
Tabela 6.9: Parâmetros térmicos e diretrizes, influência no comportamento térmico da edificação, valores de referência e sua origem	221
Tabela 6.10: Requisitos e critérios para avaliação de desempenho higrotérmico de habitações de interesse social em Porto Alegre	223
Tabela 6.11: Pontuação atingida pelos quatro projetos selecionados	225
Tabela 6.12: Classificações admissíveis para habitações térreas unifamiliares de interesse social para as condições climáticas de Porto Alegre	226

LISTA DE EQUAÇÕES

- Equação 2.1: Coeficiente de amortecimento $\mu = e^A$ 62
- Equação 2.2: Coeficiente $A = -0,1309 \times R_t \times \sqrt{B_1 + B_2}$ 62
- Equação 2.3: Coeficiente volumétrico global de perda de calor $GV_{inverno} = \frac{Q_T}{V \times (t_e - t_i)}$
 $[\frac{W}{m^3 K}]$ 63
- Equação 2.4: Coeficiente volumétrico global de perda de calor segundo seus componentes
 $GV_{inverno} = GV_{Infiltração} + GV_{paredes} + GV_{cobertura} + GV_{piso} + GV_{porta} + GV_{janela} + \dots$
 $[\frac{W}{m^3 K}]$ 64
- Equação 2.5: Fluxo de calor que atravessa uma superfície $Q = U \times (t_e - t_i) \times A$ [W] 64
- Equação 2.6: Coeficiente volumétrico parcial de perda de calor
 $GV_i = \frac{U_i \times (t_e - t_i) \times A_i}{V \times (t_e - t_i)} = \frac{U_i \times A_i}{V} [\frac{W}{m^3 K}]$ 64
- Equação 2.7: Coeficiente volumétrico de perda de calor devido à infiltração
 $GV_{Infiltração} = 1.200 \times N [\frac{W}{m^3 K}]$ 64
- Equação 2.8: Número de renovações de ar por segundo $N = \frac{Infiltração}{V} [\frac{renovações}{s}]$ 65
- Equação 2.9: Valor do número de renovações de ar por segundo com juntas parcialmente abertas $N = 5 \times \frac{1}{3.600} = 0,00139 [\frac{renovações}{s}]$ 65
- Equação 2.10: Taxa de infiltração de ar no ambiente
 $Infiltração = \frac{A_{frestas}}{1.000} \times \sqrt{0,000145 \times (t_i - t_e) + 0,001994} [\frac{m^3}{s}]$ 65
- Equação 2.11: Área das frestas $A_{frestas} = 10,4 \times A_{esquadrias}$ [m²] 66
- Equação 2.12: Temperatura superficial interna do fechamento $t_{si} = t_i + R_{si} \times U \times (t_e - t_i)$
 [°C] 67
- Equação 2.13: Valor da variação da pressão de vapor em decorrência da ocupação interna
 $\Delta p = 540 Pa$ 69
- Equação 2.14: Umidade relativa do ar interno $UR = \frac{p_i}{p_{sat i}}$ 69
- Equação 2.15: Pressão de vapor do ar interno $p_i = p_e + \Delta p$ [Pa] 69
- Equação 2.16: Pressão de saturação do ar $p_{sat} = 10^{11,27 - \frac{2.316}{T}}$ [Pa] 69

- Equação 2.17: Pressão de vapor para o ar externo $p_e = UR_e \times p_{sat e}$ [Pa] 70
- Equação 2.18: Temperatura radiante plana $T_{rp} = \sum_i t_{si} \times f_i$ [°C] 71
- Equação 2.19: Fator de forma para superfície perpendicular

$$f_i = \frac{1}{2\pi} \times \left(tg^{-1} \frac{1}{Y} - \frac{Y}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \times tg^{-1} \frac{1}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \right)$$
 72
- Equação 2.20: Coeficiente X para superfície perpendicular $X = \frac{a}{b}$ 72
- Equação 2.21: Coeficiente Y para superfície perpendicular $Y = \frac{c}{b}$ 72
- Equação 2.22: Fator de forma para superfície paralela

$$f_i = \frac{1}{2\pi} \times \left(\frac{X}{\sqrt{1 + X^2}} \times tg^{-1} \frac{Y}{\sqrt{1 + X^2}} + \frac{Y}{\sqrt{1 + Y^2}} \times tg^{-1} \frac{X}{\sqrt{1 + Y^2}} \right)$$
 73
- Equação 2.23: Coeficiente X para superfície paralela $X = \frac{a}{c}$ 73
- Equação 2.24: Coeficiente Y para superfície paralela $Y = \frac{b}{c}$ 73
- Equação 2.25: Assimetria da radiação térmica $\Delta T_{rp} = |t_i - T_{rp}|$ [°C] 74
- Equação 2.26: Valores de assimetria da radiação térmica

$$\Delta T_{rp} \leq \begin{cases} 9^\circ C & \text{para cobertura} \\ 14^\circ C & \text{para superfícies verticais} \end{cases}$$
 [°C] 75
- Equação 2.27: Coef. volumétrico global de ganho de calor $GV_{verão} = \frac{Q_T}{V \times (t_e - t_i)} \left[\frac{W}{m^3 K} \right]$ 75
- Equação 2.28: Densidade máxima de fluxo de calor $q_{máx} = FCS \times I_g + U \times (t_e - \bar{t}_i)$ $\left[\frac{W}{m^2} \right]$ 76
- Equação 2.29: Fluxo máximo de calor que atravessa a superfície $Q_{máx} = q_{máx} \times A$ [W] 77
- Equação 2.30: Temperatura máxima superficial interna atingida por um fechamento transparente $t_{simáx} = t_e + 7$ [°C] 77
- Equação 2.31: Temperatura média superficial interna de um componente

$$\bar{t}_{si} = \bar{t}_i + R_{si} \times U \times (\bar{T}_{ar-sol} - \bar{t}_i)$$
 [°C] 78
- Equação 2.32: Temperatura máxima superficial interna $t_{simáx} = \bar{t}_{si} + \mu \times (T_{ar-solmáx} - \bar{T}_{ar-sol})$ [°C] 78
- Equação 2.33: Densidade máxima de fluxo de calor $q_{máx} = \frac{1}{R_{si}} \times (t_{simáx} - \bar{t}_i)$ $\left[\frac{W}{m^2} \right]$ 79
- Equação 2.34: Fluxo máximo de calor que atravessa uma superfície $Q_{máx} = q_{máx} \times A$ [W] 79

- Equação 2.35: Temperatura máxima superficial interna do piso $t_{simax} = q_{máx} \times R_{si} + t_i$ [°C] ... 81
- Equação 2.36: Superfície pesada equivalente $SPE = A_{total} \times coef_{inércia}$ [m²] 82
- Equação 2.37: Coeficiente de superfície equivalente pesada $coef_{SPE} = \frac{SPE}{A_{edificação}}$ 83
- Equação 2.38: Efusividade térmica do material $ef = \sqrt{\lambda \times \rho \times c}$ [$\frac{W s^{\frac{1}{2}}}{m^2 K}$] 84
- Equação 2.39: Efusividade térmica média do ambiente $ef_{amb} = \frac{\sum_i (S_i \times ef_i)}{\sum_i S_i}$ [$\frac{W s^{\frac{1}{2}}}{m^2 K}$] 85
- Equação 2.40: Taxa cobertura sul ou sudeste \times área total da cobertura
 $coef_{coberturaS} = \frac{\text{área da cobertura voltada a Sul ou Sudeste}}{\text{área total da cobertura}}$ 87
- Equação 2.41: Taxa área da parede norte ou nordeste \times área da envolvente vertical
 $coef_{paredeN} = \frac{\text{área da parede norte}}{\text{área da envolvente vertical}}$ 87
- Equação 2.42: Fluxo de ar devido à ação dos ventos $\Phi_{ar} = 0,6 \times A \times v_z \times \sqrt{\Delta C_p}$ [$\frac{m^3}{s}$] 90
- Equação 2.43: Área equivalente de ventilação $\frac{1}{A^2} = \frac{1}{A_{entrada}^2} + \frac{1}{A_{saída}^2} + \frac{1}{A_{inter}^2}$ [m²] 91
- Equação 2.44: Velocidade do vento na altura Z de interesse $v_z = v_{10} \times K \times Z^a$ [$\frac{m}{s}$] 92
- Equação 2.45: Fluxo de ar devido à diferença de temperatura para uma
 abertura $\Phi_{ar} = 0,6 \times \frac{A_{útil}}{3} \times \sqrt{\frac{19,6 \times (t_i - t_e) \times l_{altura}}{t_i + t_e}}$ [$\frac{m^3}{s}$] 94
- Equação 2.46: Fluxo de ar devido à diferença de temperatura para duas aberturas
 $\Phi_{ar} = 0,6 \times A_{útil12} \times \frac{19,6 \times (t_i - t_e) \times l_{médio}}{t_i + t_2}$ [$\frac{m^3}{s}$] 95
- Equação 2.47: Área equivalente das aberturas
 $A_{útil12} = (A_1 + A_2) \times \frac{A_1}{A_2} \times \frac{\sqrt{2}}{(1 + \frac{A_1}{A_2}) \times [1 + (\frac{A_1}{A_2})^2]^{\frac{1}{2}}}$ [m²] 95
- Equação 2.48: Fluxo de calor removido através da ventilação $Q_{ventilação} = \Phi_{ar} \times [C_{ar} \times (t_e - t_i) + \rho_{ar} \times (H_e - H_i)]$ [W] 96
- Equação 2.49: Quantidade de energia térmica a ser removida das partições internas em
 função da ventilação $Q_{kJ/°C} = \text{área} \times C_T$ [$\frac{kJ}{K}$] 97

LISTA DE SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

IES: Illuminating Engineering Society

IRAM: Instituto Argentino de Racionalizacion de Materiales

IPT: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

CIENTEC: Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFSC: Universidade Federal de Santa Catarina

CSTB: Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

COHAB: Companhia de Habitação

COMFIE: Calcul d'Ouvrages Multizones Fixe à une Interface Expert

LABSOLAR: Laboratório de Energia Solar

IPH: Instituto de Pesquisas Hidráulicas

ISO: International Standardization Organization

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA	1
1.2 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS	3
1.2.1 Objetivo geral	3
1.2.2 Objetivos específicos	3
1.3 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA E PRESSUPOSTOS ASSUMIDOS	4
1.4 MÉTODO DE PESQUISA	4
1.5 ESTRUTURA DA PESQUISA PESQUISA	6
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1 CONCEITOS ADOTADOS	10
2.2 ABORDAGENS DE DESEMPENHO HIGROTÉRMICO NO BRASIL	12
2.2.1 Normas para avaliação de desempenho térmico de habitações de interesse social	14
2.2.2 Avaliação de desempenho higrotérmico por comparação com um padrão	22
2.2.3 Avaliação de desempenho higrotérmico por número de horas de desconforto térmico admissíveis	26
2.2.4 Avaliação de desempenho higrotérmico baseada na primeira e terceira abordagens	29
2.2.5 Avaliação de desempenho higrotérmico através de método não prescritivo ...	32
2.3 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NA REGIÃO DE PORTO ALEGRE	36
2.4 OUTROS ESTUDOS RELEVANTES PARA A PESQUISA	46
2.4.1 AAbordagem do estabelecimento de exigências de desempenho térmico de paredes feitas de concreto	46
2.4.2 Análise de desempenho térmico de uma habitação unifamiliar térrea	49
2.4.3 Uso de inércia térmica no clima subtropical	51
2.4.4 Avaliação de comportamento térmico de protótipo habitacional	53
2.5 REQUISITOS E CRITÉRIOS	55
2.5.1 Variáveis climáticas e variáveis internas adotadas	56
2.5.2 Condições de conforto térmico para avaliação de desempenho higrotérmico	57
2.5.3 Parâmetros térmicos, definições e procedimentos de cálculo	59
2.5.4 Análise das condições de ventilação natural	89
2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	96

3 APLICAÇÃO DOS PARÂMETROS TÉRMICOS NOS PROJETOS SELECIONADOS COMO REFERÊNCIA	103
3.1 PROTÓTIPO AGLOTEC	103
3.1.1 Descrição do protótipo Aglotec	103
3.1.2 Resultados obtidos para o protótipo Aglotec	107
3.2 PROTÓTIPO ALVORADA	118
3.2.1 Descrição do protótipo Alvorada	118
3.2.2 Resultados obtidos para o protótipo Alvorada	124
3.3 PROJETOS-REFERÊNCIA 1 E 2	138
3.3.1 Descrição dos projetos-referência 1 e 2	138
3.3.2 Resultados obtidos para o projeto-referência 1	143
3.3.3 Resultados obtidos para o projeto-referência 2	153
3.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	160
3.4.1 Parâmetros térmicos	160
3.4.2 Condições de ventilação natural	163
3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	163
4 ANÁLISE DE MEDIÇÕES IN LOCO PARA OS PROTÓTIPOS AGLOTEC E ALVORADA	165
4.1 PROTÓTIPO AGLOTEC	165
4.2 PROTÓTIPO ALVORADA	173
4.3 DISCUSSÃO DE RESULTADOS DE MEDIÇÕES IN LOCO PARA OS PROTÓTIPOS AGLOTEC E ALVORADA	181
4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	187
5 LEVANTAMENTO DE CAMPO JUNTO A AGENTES E ESPECIALISTAS ...	189
5.1 EMBASAMENTO DO LEVANTAMENTO DE CAMPO	189
5.1.1 Grupo 1	189
5.1.2 Grupo 2	190
5.2 RESULTADOS OBTIDOS JUNTO AO GRUPO 1	191
5.3 RESULTADOS OBTIDOS JUNTO AO GRUPO 2	195
5.4 DISCUSSÃO DE RESULTADOS OBTIDOS COM O LEVANTAMENTO JUNTO AOS AGENTES E ESPECIALISTAS	202
5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	206
6 CONCLUSÕES E PROPOSTA DE MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO HIGROTÉRMICO DE HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL	207
6.1 AJUSTES SUGERIDOS PARA OS PROTÓTIPOS AGLOTEC E ALVORADA ..	207
6.2 CONCLUSÕES GERAIS	211

6.2.1 Aplicação dos parâmetros térmicos	211
6.2.2 Análise das medições in loco	212
6.2.3 Levantamentos junto a agentes e especialistas	214
6.3 DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS TÉRMICOS E DIRETRIZES	216
6.4 PROPOSTA FINAL DO MÉTODO	222
6.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	226
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	227
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	231
ANEXOS	
ANEXO 1 – DESCRIÇÃO E PROPRIEDADES TÉRMICAS DA ENVOLVENTE DOS PROTÓTIPOS AGLOTEC E ALVORADA	A1
ANEXO 2 – RADIAÇÃO SOLAR PARA PORTO ALEGRE E FLUXO MÁXIMO DE CALOR $Q_{MÁX}$ PARA A SITUAÇÃO DE VERÃO	A65
ANEXO 3 – MEDIÇÕES IN LOCO EFETUADAS PARA OS PROTÓTIPOS AGLOTEC E ALVORADA E DIAS TÍPICOS DE PROJETO ADOTADOS..	A91
ANEXO 4 – AJUSTES EFETUADOS NA ENVOLVENTE DOS PROTÓTIPOS AGLOTEC E ALVORADA	A123
ANEXO 5 – ROTEIRO DAS ENTREVISTAS E QUESTIONÁRIO	A143

1 INTRODUÇÃO

O objeto desta pesquisa é a habitação térrea unifamiliar de interesse social e seu desempenho higrotérmico para condições climáticas de Porto Alegre, RS. É proposto um conjunto de procedimentos, baseados em modelos físicos simplificados, para avaliação de desempenho higrotérmico que considere o comportamento da edificação como um todo. Quatro habitações térreas unifamiliares de interesse social construídas em Porto Alegre são avaliadas com o método e servem como referências iniciais para a definição de requisitos e critérios. Este capítulo apresenta a justificativa, a delimitação do universo, os objetivos, o método de trabalho e a estruturação da pesquisa.

1.1 Justificativa

Problemas de conforto térmico de habitações de interesse social no Brasil têm sido constatados em vários estudos, seja através da avaliação da percepção do usuário (ALUCCI, 1988; FROTA et al., 2003; SATTLER et al., 2003a; SATTLER et al., 2003b), seja através de simulações e medições (KRÜGER e LAMBERTS, 2000; PEREIRA et al., 2000; INO e ALVES, 2001; KRÜGER et al., 2003; MORELLO e SATTLER, 2004; MORELLO, 2005a).

Pesquisas têm sido desenvolvidas com a intenção de configurar diretrizes para o projeto de habitações de interesse social e métodos para sua avaliação, visando a melhoria de seu desempenho térmico para a realidade brasileira (TURIK, 1988; AKUTSO et al., 1995; BARBOSA, 1997; PIETROBON et al., 2001; SILVA e BASSO, 2002, entre outros).

Em uma análise rápida, as avaliações podem ser divididas em três grupos: avaliações efetuadas através de medições *in loco*; avaliações efetuadas através de modelos físicos (simulações computacionais ou não); avaliações feitas a partir da percepção dos usuários.

Muitas vezes, resultados diferentes são obtidos através das diferentes categorias de avaliação, principalmente quando comparações são realizadas entre resultados obtidos através de

medições e simulações com programas computacionais ou cálculos manuais (BARBOSA e LAMBERTS, 2001; GRIGOLETTI e SATTTLER, 2004, entre outros).

Por outro lado, as simulações constituem uma importante ferramenta para a fase de concepção da edificação, pois permitem testar soluções e verificar sua eficiência antes da construção da mesma. Esta versatilidade não é contemplada pelas outras duas categorias, a menos que sejam feitos testes a partir de protótipos. Esta última possibilidade, embora seja mais adequada, ainda depende das simulações, uma vez que o protótipo é construído em um local específico e a edificação, durante as medições, poderá estar exposta a condições externas (mesoclima) e internas (ocupação pelo usuário) diferentes de uma situação real posterior.

Além do exposto acima, a complexidade dos métodos de simulação pode ser uma dificuldade a mais para a melhoria do desempenho térmico das habitações de interesse social. Esta complexidade faz com que apenas especialistas na área de conforto ambiental de edificações usem tais instrumentos. O resultado é que grande parte das construções apresenta desempenho inadequado, contribuindo para a baixa qualidade de vida das populações que não dispõem de recursos para adequar suas habitações a condições de conforto ambiental através do uso de sistemas ativos de condicionamento do ar, tal como acontece com as classes média e alta. No Brasil, mesmo edificações voltadas à população mais abastada apresentam problemas de desempenho térmico e não contemplam estratégias bioclimáticas para a redução de consumo de energia artificial.

Em busca de um melhor desempenho térmico das habitações voltadas à população de baixa renda, um conjunto de normas técnicas vem sendo elaborado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004, 2005). Tais normas são um primeiro passo em direção à melhor qualidade de vida de populações que estão historicamente à margem de soluções adequadas para suas habitações. No entanto, não são definitivas e devem ser continuamente discutidas e melhoradas à medida que são postas em prática.

A questão que se apresenta, após o exposto acima, é: que requisitos e critérios de desempenho higrotérmico de habitações térreas unifamiliares de interesse social, que permitam a avaliação da edificação como um todo, acessíveis aos diferentes agentes atuando no setor da construção civil (financiadores, projetistas, construtores, fiscalizadores, entre outros), podem ser considerados durante a fase de projeto, a fim de garantir uma qualidade aceitável para o ambiente térmico destas habitações, e para as condições climáticas de Porto Alegre, RS?

1.2 Objetivos geral e específicos

1.2.1 Objetivo geral

Contribuir para a construção de um método de avaliação de desempenho higrotérmico de habitações térreas unifamiliares de interesse social para as condições climáticas de Porto Alegre / RS, que considere a edificação como um todo.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) apresentar e discutir abordagens empregadas na análise e avaliação do desempenho higrotérmico de habitações unifamiliares de interesse social no Brasil;
- b) pesquisar e selecionar modelos físicos simplificados para a avaliação de desempenho térmico de habitações térreas unifamiliares de interesse social acessíveis aos diversos agentes envolvidos no projeto, construção e avaliação de tais edificações;
- c) propor requisitos complementares para as normas desenvolvidas pela ABNT (2004, 2005) para avaliação de desempenho higrotérmico de habitações térreas unifamiliares de interesse social para as condições climáticas de Porto Alegre, RS;
- d) analisar e discutir o desempenho higrotérmico de dois protótipos de habitação térrea unifamiliar de interesse social construídos em Porto Alegre, RS, através de simulações matemáticas e de dados de medições *in loco* pré-existentes;
- e) levantar os problemas e necessidades ligados a habitações de interesse social e submeter os requisitos e critérios de desempenho higrotérmico propostos, junto a agentes atuando em órgãos públicos de financiamento, projeto, execução, fiscalização e avaliação de habitações de interesse social em Porto Alegre;
- f) levantar problemas verificados com habitações de interesse social e habitações em geral, abordagens sendo usadas na avaliação desse tipo de edificação e submeter os requisitos e critérios de desempenho higrotérmico propostos a um grupo de especialistas da área de conforto térmico atuando em instituições de ensino e pesquisa brasileiros;
- g) propor valores de referência para requisitos e critérios de desempenho higrotérmico para habitações térreas unifamiliares de interesse social condizentes com o contexto social e econômico de Porto Alegre.

1.3 Delimitação da pesquisa e pressupostos assumidos

Alguns pressupostos são assumidos para desenvolvimento do estudo:

- a) são selecionados dois protótipos de habitação de interesse social, construídos em Porto Alegre, que foram submetidos a medições *in loco*, para seu comportamento ser analisado através de um método diferente daquele proposto. Pressupõe-se que a análise dos resultados obtidos com as medições possam ser usados para verificação da relevância dos parâmetros propostos, embora sejam duas situações isoladas submetidas à análise. Esta decisão é tomada em função da quase inexistência de estudos de avaliação pós-ocupação em habitações de interesse social no Brasil;
- b) os custos destes protótipos são comparáveis aos custos praticados pelo poder público, responsável pelo projeto, execução e financiamento deste tipo de habitação em Porto Alegre, conforme valores fornecidos por estes órgãos e apresentados neste estudo;
- c) a possibilidade de comparação entre os resultados das medições para os dois protótipos, embora os dois estudos sejam encaminhados em momentos diferentes e não usaram o mesmo método para medições, ou seja, mesmo tipo de equipamento, mesmas variáveis medidas e pontos de medição. Assume-se que é possível a comparação dos resultados, ignorando-se as possíveis discrepâncias, para um estudo inicial, pois poucos dados existem resultantes de medições *in loco* para estudos de maior precisão no Brasil;
- d) pressupõe-se que as simulações adotadas podem ser enriquecidas pela análise dos dados medidos *in loco*, embora a simulação real e a teórica não possam ser de todo comparadas, devido às aproximações, simplificações e disparidades inerentes às duas abordagens;
- e) não é considerado, neste trabalho, a avaliação do usuário, embora esta seja tão importante quanto as outras avaliações, uma vez que as edificações usadas como referência inicial no estudo e que foram ocupadas não foram implantadas em Porto Alegre;
- f) pressupõe-se que dois projetos indicados pelos agentes ligados ao setor de habitação de interesse social como referências locais possam servir como referência inicial para os alguns critérios de requisitos sendo propostos no estudo.

1.4 Método de pesquisa

A pesquisa está estruturada em quatro etapas básicas. A *primeira etapa* corresponde à revisão bibliográfica em que foram pesquisadas algumas abordagens existentes de avaliação de

desempenho térmico no Brasil, análises feitas para o clima de Porto Alegre e estudos relativos a parâmetros térmicos aplicáveis a habitações de interesse social. A *segunda etapa* corresponde à definição, através da apresentação de procedimentos de cálculo, de um conjunto de parâmetros térmicos, para avaliação de desempenho higrotérmico, aplicáveis à realidade brasileira e ao objeto de estudo, baseados na revisão bibliográfica e em modelos físicos indicados pela literatura especializada. Quatro projetos de habitação de interesse social desenvolvidos para as condições climáticas de Porto Alegre, denominados de *Aglotec*, *Alvorada*, *projeto-referência 1* e *projeto-referência 2*, são submetidos a análise através dos parâmetros selecionados. Os dois primeiros foram projetados por uma empresa que atua na área de projeto e execução de habitações de interesse social e uma instituição de pesquisa, e foram submetidos a medições de variáveis térmicas *in loco* por BECKER (1992) e MORELLO (2005). Efetua-se uma complementação da análise do comportamento térmico medido *in loco* para o protótipo *Alvorada*, a partir de dados obtidos por MORELLO (2005) e não publicados pelo autor. A partir da análise do comportamento simulado através dos parâmetros térmicos definidos na segunda etapa, e da análise do comportamento térmico medido *in loco* (resultados obtidos pelos autores citados e complementação dessas análises sempre que o conjunto de dados permitirem), são propostos valores de referência iniciais para os parâmetros térmicos escolhidos (requisitos e critérios) e é verificada a relevância desse parâmetro para o desempenho de habitações térreas unifamiliares de interesse social. A *terceira etapa* é relativa à consulta de agentes envolvidos no financiamento, projeto, construção e fiscalização de habitações de interesse social em Porto Alegre. Junto a estes órgãos foram obtidos os *projetos-referência 1* e *2*. Esses projetos são considerados pelos agentes como soluções favorável e desfavorável. A opinião dos agentes sobre os requisitos e critérios definidos na segunda etapa é levantada através de entrevista e diálogo reflexivo. Também são consultados especialistas da área de conforto ambiental térmico de edificações a fim de averiguar a adequação dos requisitos e critérios propostos. Os projetos analisados servem como referência para os níveis propostos para fins de avaliação de outras soluções compatíveis com a prática local. Finalmente, a *quarta etapa* corresponde à proposta final do método de avaliação de desempenho higrotérmico para habitações térreas unifamiliares para as condições climáticas de Porto Alegre, RS. A *figura 1.1* que segue ilustra o método adotado na pesquisa.

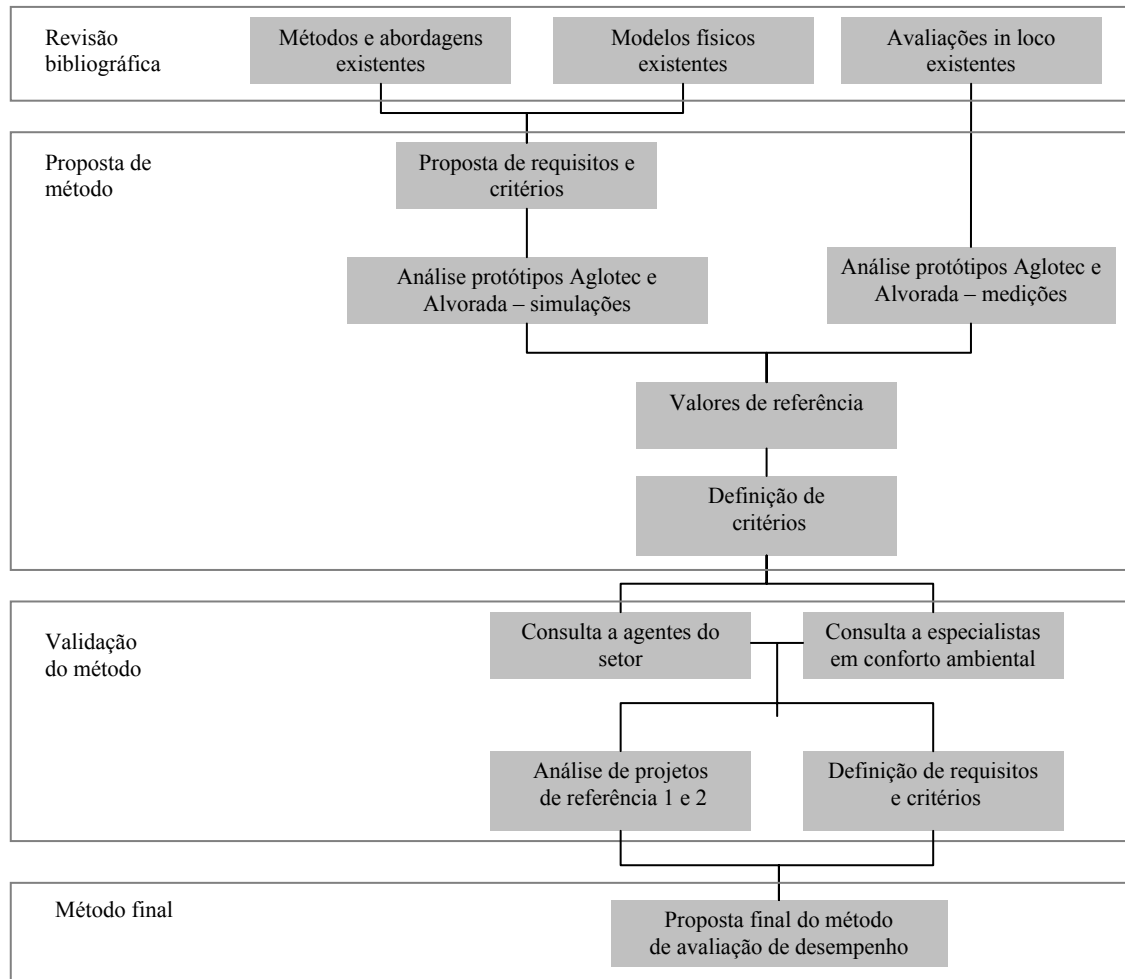


Figura 1.1. Diagrama ilustrativo do método adotado na pesquisa

1.5 Estrutura da pesquisa

A pesquisa estrutura-se em sete capítulos e cinco anexos: *Capítulo 1 - Introdução*, *Capítulo 2 - Revisão bibliográfica*, *Capítulo 3 – Aplicação dos parâmetros térmicos nos projetos selecionados como referência*, *Capítulo 4 – Análise de medições in loco para os protótipos Aglotec e Alvorada*, *Capítulo 5 – Levantamento de campo junto a agentes e especialistas*, *Capítulo 6 - Conclusões e proposta de método de avaliação de desempenho higrotérmico de habitações de interesse social* e *Capítulo 7 – Considerações finais*.

O *Capítulo 1* refere-se à introdução ao estudo. O *Capítulo 2*, *Revisão bibliográfica*, abrange a definição de conceitos assumidos no presente estudo, a apresentação e a análise de seis abordagens defendidas por diferentes autores, três estudos que envolveram medições *in loco*,

outros textos complementares, descrição das condições climáticas em Porto Alegre, RS segundo alguns autores e explicita a abordagem adotada nos modelos físicos de simulação do comportamento higrotérmico de edificações obtidos de literatura especializada. O *Capítulo 3, Aplicação dos parâmetros térmicos nos projetos selecionados como referência*, apresenta os quatro projetos selecionados como referência para habitações de interesse social em Porto Alegre e resultados obtidos com a aplicação dos parâmetros térmicos. O *Capítulo 4, Análise de medições in loco para os protótipos Aglotec e Alvorada*, apresenta a análise encaminhada a partir de medições *in loco* efetuadas por BECKER (1992) e MORELLO (2005) para os protótipos *Aglotec* e *Alvorada*. O *Capítulo 5, Levantamento de campo junto a agentes e especialistas*, apresenta o método usado nos levantamentos de campo junto a agentes do setor público e a especialistas da área de conforto ambiental térmico de edificações. O *Capítulo 6, Conclusões e proposta de método de avaliação de desempenho higrotérmico de habitações de interesse social*, são apresentadas as conclusões a partir da análise dos resultados obtidos e o método proposto para a avaliação de desempenho higrotérmico de habitações térreas unifamiliares de interesse social e considerações finais do estudo. Finalmente, no *Capítulo 7, Considerações finais*, são apresentadas sugestões para continuação dos estudos na temática proposta. Nos *Anexos*, tem-se: memória de cálculo dos parâmetros térmicos dos protótipos *Aglotec* e *Alvorada*, dados climáticos utilizados (radiação solar horária por orientação solar), tabelas de ganhos térmicos para a situação de verão para os protótipos *Aglotec* e *Alvorada*, dados de medições *in loco* utilizados na análise dos protótipos *Aglotec* e *Alvorada*, ajustes propostos, e roteiro das entrevistas e questionários usados nos levantamentos de campo junto aos agentes do setor público e especialistas da área de conforto térmico.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem por objetivo apresentar algumas definições adotadas na pesquisa, apresentar e discutir algumas abordagens desenvolvidas para análise e avaliação de desempenho higrotérmico voltadas a habitações térreas unifamiliares de interesse social no Brasil, descrever as condições climáticas para Porto Alegre, RS, bem como apresentar quatro estudos sobre o comportamento térmico de edificações de uso residencial através de medições *in loco*. As definições e conceitos adotados na pesquisa são apresentados no *item 2.1*.

As abordagens¹ apresentadas são: normas da ABNT (2005a, 2005b, 2005c) e estudos sendo desenvolvidos por este órgão, avaliação de desempenho higrotérmico por comparação com um padrão (TURIK, 1988), avaliação de desempenho higrotérmico por número de horas de desconforto térmico admissíveis ($\Sigma h_{desconforto}$) (BARBOSA, 1997), avaliação de desempenho higrotérmico baseada na ABNT e em BARBOSA, com alterações (SILVA e BASSO, 2002), e método de avaliação de desempenho higrotérmico não-prescritivo, desenvolvido pelo IPT (AKUTSO, VITTORINO e PEDROSO, 199?). Estes estudos são apresentados no *item 2.2*. As condições climáticas de Porto Alegre são apresentadas e discutidas no *item 2.3*. Os quatro estudos efetuados através de medições *in loco* em habitações residenciais, paredes e coberturas são de AROZTEGUI e BRIZOLARA (1980), os quais avaliam paredes de concreto para as condições climáticas de Porto Alegre; de BECKER (1992), que avalia um protótipo de habitação de interesse social em Cachoeirinha, região metropolitana de Porto Alegre, RS; de PAPST (1999) e GOULART (2004), apresentando estudos de edificações de uso residencial em Florianópolis, SC; e de MORELLO (2005a), que avalia um protótipo de habitação de interesse social em Porto Alegre, RS. Estes estudos são apresentados no *item 2.4*. No *item 2.5* são apresentadas as variáveis climáticas e internas adotadas, as condições de conforto térmico para avaliação do desempenho e apresentados os parâmetros térmicos, suas definições e seus procedimentos de cálculo.

¹ Embora algumas das abordagens não possam ser consideradas avaliações de desempenho higrotérmico, em seu sentido completo, este termo será sempre utilizado.

2.1 Conceitos adotados

No texto *Parte 1: Definições, símbolos e unidades*, a ABNT (2005a) estabelece as definições, símbolos e unidades de termos relacionados ao desempenho térmico de edificações. Neste estudo, estas definições, símbolos e unidades são adotados, exceto em situações específicas que serão comentadas quando as mesmas ocorrerem. Além das definições expressas pela ABNT (2005a), outros conceitos, não presentes nesse documento, são apresentados como segue.

O conceito de avaliação de desempenho higrotérmico de uma edificação, adotado neste trabalho, baseia-se na definição apresentada por AKUTSO (1988, p. 469). Esse corresponde à verificação se as condições internas de um dado ambiente satisfazem ou não um conjunto de requisitos e critérios² definidos em função das necessidades do usuário no que diz respeito ao seu conforto térmico. Conforto térmico, por sua vez, é a satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente (ABNT, 2005a). Neste estudo, avaliação de desempenho higrotérmico inclui aspectos tal como a condensação sobre paredes que pode não afetar a satisfação do usuário com as condições térmicas do ambiente, mas que pode afetar sua saúde (através de proliferação de fungos e bactérias), diferenças entre temperaturas internas superficiais de paredes, piso e forro de determinados ambientes, que podem causar desconforto térmico.

Uma edificação caracteriza-se por uma separação material entre um ambiente interior e um ambiente exterior. Esta separação material é conseguida através da envolvente da edificação, a qual é formada pelos fechamentos opacos (paredes, portas, cobertura, pisos) e fechamentos transparentes (superfícies envidraçadas, tais como janelas). É esta envolvente a responsável pelas trocas térmicas entre o meio interior e exterior, tendo papel fundamental nas condições de conforto térmico do usuário das edificações.

O processo de avaliação de desempenho higrotérmico de uma edificação engloba a definição das grandezas que interferem no conforto térmico e a forma de avaliação dessas grandezas (AKUTSO, 1988, p. 469). Essas grandezas são as seguintes: a temperatura do ar interno, t_i , a umidade relativa do ar interno, UR , a velocidade do ar interior, v , e a temperatura radiante

² Segundo a ABNT (2004a, p.8), requisitos são condições qualitativas que devem ser cumpridas pela edificação enquanto critério é um conjunto de procedimentos e valores de referência que visam especificar quantitativamente as exigências técnicas que satisfaçam as necessidades do usuário.

média das superfícies interiores, T_{rm} . Essas grandezas são determinadas pelas propriedades térmicas da envolvente da edificação (fechamentos opacos e transparentes) e das condições climáticas do meio interno. As propriedades térmicas da envolvente da edificação são entendidas como o conjunto das seguintes variáveis: condutividade térmica, λ , resistência térmica, R_T , absorvância das superfícies, α , coeficiente de emissividade, ε , fator de calor solar, FCS , capacidade térmica, C_T , amortecimento, μ , e atraso térmico, φ , dos fechamentos e seus materiais. Além das propriedades térmicas da envolvente da edificação, existem outras propriedades que estão associadas à edificação como um todo e, no *Capítulo 2*, as mesmas serão apresentadas e definidas.

As condições climáticas do meio interno são definidas pela velocidade, direção e sentido dos ventos, v , temperatura do ar externo, t_e , umidade relativa do ar, UR , temperatura de ponto de orvalho, $t_{orvalho}$, e intensidade de radiação solar, I , chamadas variáveis climáticas. A seguir, define-se cada uma destas variáveis e suas implicações para a transferência de calor entre a envolvente da edificação e o meio externo, bem como para o conforto térmico dos indivíduos.

A temperatura do ar externo, t_e , representa a temperatura do meio fluido ar e pode ser medida com um termômetro de mercúrio ou termógrafo, cujo bulbo deve estar protegido da radiação solar direta. Esta variável influencia as trocas térmicas por convecção. A unidade em geral adotada é graus Celsius ($^{\circ}C$).

Umidade relativa do ar, UR , indica a relação existente entre a massa de vapor d'água contida em uma determinada massa de ar (grama de vapor d'água por quilograma de ar seco, g/kg) e a quantidade máxima que esta quantidade de ar seco suporta de vapor d'água sem que aconteça o fenômeno da condensação. É medida através de higrômetros ou higrógrafos. Esta variável influencia nas trocas térmicas por evaporação. É uma grandeza adimensional indicada em percentagem (%).

A temperatura de ponto de orvalho, $t_{orvalho}$, é a temperatura do ar em que uma determinada mistura de vapor d'água e ar chega à saturação. Qualquer diminuição da temperatura do ar além da temperatura de ponto de orvalho faz com que o vapor d'água nele contido se condense. A unidade em geral adotada são graus Celsius ($^{\circ}C$).

A radiação solar, I , é a energia emitida pelo sol e que chega ao planeta Terra como ondas eletromagnéticas de forma direta ou difusa (absorvida e emitida pela atmosfera). A

intensidade da radiação solar depende das condições atmosféricas de um determinado lugar (nebulosidade, poluentes, etc.), da latitude e da altitude locais. Esta variável influencia as trocas térmicas por radiação. A unidade em geral adotada é Watts por metro quadrado (W/m^2).

A velocidade do vento, v , surge com o movimento do ar de zonas de alta pressão para zonas de baixa pressão. Esta variável influencia as trocas térmicas por convecção e evaporação. É medida em quilômetros por hora (km/h) ou metros por segundo (m/s).

Neste estudo, a fim de garantir uniformidade na leitura de texto, quando estiverem sendo referidas variáveis climáticas, estas recebem esta terminologia. As variáveis ligadas às propriedades térmicas dos fechamentos e da edificação, recebem a terminologia de parâmetros³ térmicos. As demais variáveis relacionadas com o ambiente térmico do interior da edificação, temperaturas, umidade e velocidade do ar, são denominadas de variáveis térmicas internas.

2.2 Abordagens de desempenho higrotérmico no Brasil

Abordagens para o desempenho higrotérmico de habitações térreas unifamiliares de interesse social no Brasil vêm, ora detendo-se na determinação das horas de desconforto térmico, $\Sigma h_{desconforto}$, a que o usuário estará submetido no interior da edificação, ora baseando-se em valores adequados para parâmetros térmicos determinantes do comportamento térmico dos fechamentos da edificação, que garantiriam a satisfação do usuário com seu ambiente térmico. Estas abordagens baseiam-se, ou em simulações feitas através de programas computacionais, através de cálculos expeditos, ou através de medições *in loco*.

Neste trabalho, seis abordagens utilizadas na avaliação de desempenho higrotérmico desenvolvidas para habitações de interesse social são apresentadas. São elas: normas para desempenho higrotérmico de habitações de interesse social (ABNT, 2005a; ABNT, 2005b; ABNT, 2004a; ABNT, 2004b; ABNT, 2004c); avaliação de desempenho higrotérmico por comparação com um padrão (TURIK, 1988); avaliação de desempenho higrotérmico por número de horas de desconforto térmico admissíveis, $\Sigma h_{desconforto}$ (BARBOSA, 1997); avaliação de desempenho higrotérmico baseada na primeira e terceira abordagens com

³ Parâmetro: valor que se mantém constante em um determinado fenômeno.

ampliações (SILVA e BASSO, 2002); avaliação de desempenho adaptada desta última (GRIGOLETTI, SEDREZ e SATTTLER, 2002); avaliação da resposta global da edificação frente ao ambiente térmico exterior (AKUTSU, VITTORINO e PEDROSO, 199?, p.35). Alguns destes métodos prescindem do uso de programas computacionais (TURIK, 1988; ABNT, 2005, 2004; AKUTSU, VITTORINO e PEDROSO, 199?), enquanto outros não (BARBOSA, 1997; SILVA e BASSO, 2002; GRIGOLETTI, SEDREZ e SATTTLER, 2002).

BARBOSA (1997, p. 8) apresenta alguns métodos nacionais e internacionais para avaliação de desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares. Sua discussão abrange algumas normas internacionais tais como: normas desenvolvidas nos Estados Unidos da América pela Sociedade Americana de Aquecimento, Refrigeração e Engenharia de Ar-Condicionado (ASHRAE) e pela Sociedade de Engenharia de Iluminação (IES), normas desenvolvidas na Argentina pelo Instituto Argentino de Racionalização de Materiais (IRAM), normas desenvolvidas na França, entre outros países. As normas argentinas considerarem parâmetros térmicos globais através de uma grandeza que exprime o total de perdas de calor admissível, condensação superficial e intersticial e pontes térmicas. DILKIN e SCHNEIDER (2000) analisam algumas propostas nacionais de norma de desempenho térmico de habitações de interesse social. Algumas normas estrangeiras são apresentadas pelos autores., tais como as de Espanha, Portugal, Argentina, Estados Unidos da América, Reino Unido e África do Sul. Grande parte das normas baseia-se na avaliação do chamado coeficiente global de transferência de calor equivalente à transmitância térmica adotada pela ABNT (2005c). As normas espanholas, além da transmitância térmica, estabelecem valores limites para um coeficiente global geral de transferência de calor através da envolvente da edificação, que é baseado em uma média ponderada das transmitâncias térmicas de cada elemento da envolvente. As normas portuguesas adicionam a análise da inércia térmica da edificação. Alguns destes parâmetros térmicos são sugeridos para a análise de habitações térreas unifamiliares de interesse social neste estudo. A seguir, as seis abordagens consideradas neste estudo, e sua análise, são apresentadas.

2.2.1 Normas para avaliação de desempenho térmico de habitações de interesse social

A ABNT (2005a, 2005b, 2005c), através de três documentos, recomenda métodos padronizados para cálculo de variáveis arquitetônicas, procedimentos para tratamento de dados climáticos, zoneamento bioclimático, metodologia de avaliação e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social no Brasil. Estas propostas são resultados de pesquisas desenvolvidas ao longo das décadas de 70, 80 e 90, em centros de pesquisa e universidades brasileiras, incluindo pesquisas desenvolvidas pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul (CIENTEC), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), entre outros. Os estudos iniciaram com pesquisas de componentes isolados da edificação, tal como prescrições para aberturas e coberturas, até a visão global da edificação, culminando no projeto de norma acima citado.

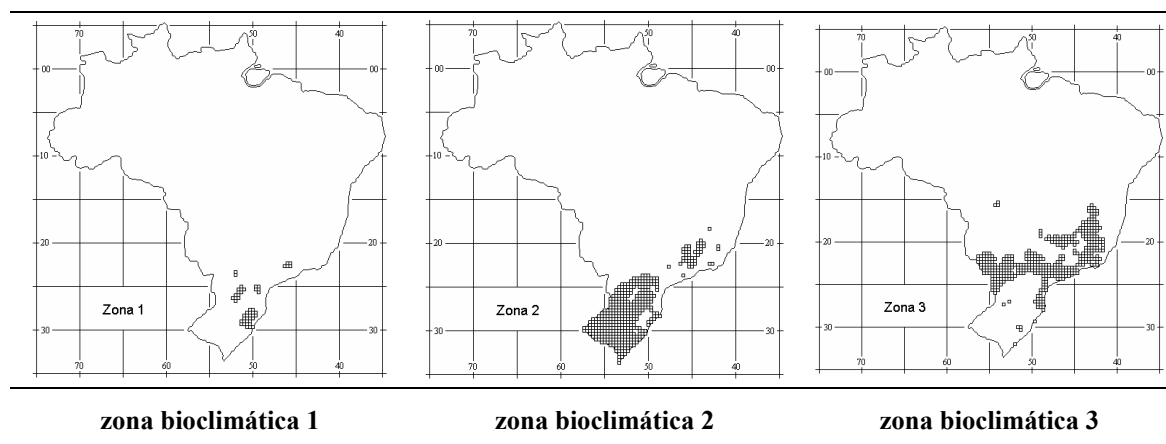
A ABNT (2005b), no documento *Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações*, especifica procedimentos específicos para cálculo de resistência térmica, transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator de calor solar de componentes da envolvente da edificação.

No documento *Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social*, a ABNT (2005c) apresenta o zoneamento bioclimático brasileiro, o qual é a base para a definição de um conjunto de recomendações e estratégias construtivas destinadas a habitações unifamiliares de interesse social. Estes constituem requisitos mínimos de projeto que proporcionam condições aceitáveis de conforto térmico em tais habitações, sendo aplicável em edificações de até três pavimentos. As diretrizes e recomendações dizem respeito a:

- a) tamanho de aberturas para ventilação em função da área do piso do cômodo;
- b) sombreamento das aberturas em diferentes períodos do ano;
- c) transmitância térmica, U , atraso térmico ϕ e fator de calor solar, FCS , máximos admissíveis, para fechamentos opacos (paredes e coberturas);
- d) estratégias de condicionamento térmico passivo.

A seguir, na *tabela 2.1*, são apresentadas as três zonas bioclimáticas que abrangem o Rio Grande do Sul (SILVA, 1994, ABNT, 2005c).

Tabela 2.1. Zonas bioclimáticas que abrangem o Rio Grande do Sul



(Fonte: ABNT 2005c)

Além do exposto acima, a ABNT (2005c) apresenta uma relação de 330 cidades cujos climas foram classificados de acordo com as oito zonas bioclimáticas em que o território nacional foi dividido.

Observa-se que as zonas bioclimáticas 1 e 2, que abrangem Rio Grande do Sul e boa parte de Santa Catarina e Paraná, possuem prescrições muito parecidas, diferindo apenas nas estratégias de condicionamento térmico passivo, onde, para o verão, é indicada ventilação cruzada para a Zona Bioclimática 2. Ou seja, as regiões são tratadas com grande uniformidade. Tomando como exemplo o estado do RS, pertencente praticamente a apenas uma Zona Bioclimática de acordo com a norma, existem pelo menos sete zonas climáticas (FORTES, 1959, p. 166), que impõe necessidades construtivas diferentes. Climas de cidades como Pelotas, Santa Maria e Santa Vitória do Palmar, todas classificadas na Zona Bioclimática 2, e com características climáticas diferentes entre si, implicam necessidades construtivas distintas. Santa Maria, por exemplo, localizada na região conhecida como Depressão Central, possui um clima similar ao de Porto Alegre (verões quentes e úmidos e invernos amenos, com ondas de calor frequentes) e poderia ser classificada na Zona Bioclimática 3. A norma, por sua abrangência, não permite uma análise mais detalhada do clima de regiões características de cada estado. Devido a essas diferenças relativas à escala regional, é importante fazer uma análise mais condizente com o clima local, embora isso

demande um esforço em pesquisa bastante grande, atingindo-se uma solução mais adequada a cada lugar.

Em relação às diretrizes, a especificação de tamanho de aberturas, transmitância térmica, U , atraso térmico, φ , e fator de calor solar, FCS , de fechamentos são bastante restritos considerando que a configuração geral da edificação é importante. Esta configuração diz respeito à orientação das aberturas para captação de sol e ventos, orientação da cobertura, sombreamento de superfícies externas e uso de vegetação coadjuvante no controle da temperatura do ar externo, t_e , entre outros, para redução de carga térmica. Tais características, para a situação de habitações térreas unifamiliares de interesse social, podem ser exploradas na fase de concepção de projeto, considerando a baixa complexidade de compartimentação e volumetria da edificação, e podem fazer parte de prescrições qualitativas para tais edifícios. Algumas diretrizes qualitativas podem enriquecer as recomendações e tornar mais efetiva a solução arquitetônica no que diz respeito ao comportamento térmico da edificação, sem implicar custos adicionais para a construção.

Em relação às transmitâncias térmicas, U , de paredes e coberturas, as diretrizes não diferenciam os valores desejáveis de acordo com possíveis orientações. As diretrizes não apresentam orientações desejáveis para coberturas e paredes de maior e menor área, decisões que podem melhorar o comportamento térmico da edificação e também podem ser estabelecidas no momento da concepção do projeto.

Além do já exposto, a especificação da inércia térmica de fechamentos (vedações externas) e partições internas (vedações internas) está expressa de forma qualitativa (leve e pesada), sem referenciar explicitamente o valor de inércia térmica associado aos termos leve e pesado. Embora o atraso térmico, φ , seja indicativo da inércia térmica da edificação, ele apenas considera os fechamentos externos, e, para a cobertura, apenas a situação de verão. Poderia ser considerado um parâmetro específico para a avaliação da inércia térmica da edificação como um todo.

Segundo RIVERO (1985, p.138), inércia térmica está associada à capacidade dos fechamentos (envolvente da edificação) e da própria edificação como um todo (através de suas partições internas, piso e mobília) em armazenar e liberar calor, alterando os horários em que ocorrem as temperaturas máxima e mínima do ar interno da edificação e amortecendo estes extremos. A inércia térmica das partições internas, piso e mobília de uma edificação

afeta a temperatura superficial interna, t_{si} , dos fechamentos: quanto maior a primeira, menor será a segunda. Este fenômeno é desejável em situações onde há uma variação significativa de temperatura do ar externo, t_e , entre o dia e a noite, com amplitudes de onda de temperatura do ar externo diárias iguais ou superiores a $10,0\text{ }^\circ\text{C}$, segundo estudos de GIVONI (1994) e SZOKOLAY (1985), citados por PAPST (1999, p. 19 e 20). Em tais situações, nos períodos quentes, a promoção de uma boa ventilação noturna e o impedimento da entrada de ar quente através de ventilação durante o dia, garantiria uma diferença da ordem de $10,0\text{ }^\circ\text{C}$ entre as médias das temperaturas do ar externo, t_e , e do ar interno, t_i , e um significativo amortecimento das variações de temperatura do ar interno, t_i , em $2,5\text{ }^\circ\text{C}$ de amplitude.

Constatada a importância da inércia térmica como moderador das variações de temperatura do ar interno, t_i , e seu controle em níveis desejáveis, é importante esclarecer o que se entende por vedações internas e externas, pesadas ou leves. FROTA e SCHIFFER (1995, p.50) e AROZTEGUI e BRIZOLARA (1980, p. 9), baseados em método desenvolvido pelo *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* (CSTB) expõem que, para a avaliação da inércia térmica de uma edificação, é necessário conhecer a superfície equivalente pesada, SPE , a qual é igual à soma das áreas de todas as superfícies do fechamento (paredes, pisos e tetos), multiplicada por um coeficiente de inércia, $coef_{inércia}$, que é função da resistência térmica média dos revestimentos do fechamento e da massa e área dos mesmos. Este conceito é melhor apresentado no *item 2.5.3.7*.

No que tange à ventilação natural, a consideração apenas de percentagens de pisos, pode levar a resultados diferentes segundo sua eficiência, pois a posição das aberturas sobre os fechamentos verticais influencia a quantidade de ventilação natural disponível em um determinado cômodo. A especificação de aberturas em função de percentagem do piso deve vir acompanhada de recomendações em relação à posição de aberturas, considerando a direção predominante dos ventos de verão, e à distribuição de vãos para captação de ar e para tiragem do ar (ASHRAE, 2005, p. 27.11). O projeto de norma estipula uma área máxima, calculada como percentagem do piso, para aberturas destinadas à ventilação, em regiões em que esse controle é necessário. Esta limitação garante que não ocorram infiltrações de ar excessivas no inverno, o que contribuiria para o mau desempenho da edificação no período frio, bem como não haja ganhos por radiação solar excessiva no verão.

Além dos três documentos apresentados, a ABNT (2004a, 2004b, 2004c) apresenta um conjunto de normas mais amplas, divididas em cinco partes, que tratam do desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos. Na *Parte 1, Requisitos Gerais* (ABNT, 2004a, p.11), são especificados requisitos, critérios, métodos de avaliação e níveis de desempenho geral (incluindo o higrotérmico) para diferentes elementos e partes da construção. A norma especifica um nível mínimo que deve ser obrigatoriamente atingido (Nível *M*). Além deste nível, especifica os níveis intermediário e superior (Nível *I* e Nível *S*). Cabe aos agentes da construção civil (poder público, investidores, etc.) definir qual o nível a ser adotado em determinada situação, desde que não seja inferior ao Nível *M*.

Para a verificação se um determinado elemento, componente, sistema ou edificação satisfaz o nível adotado, para a avaliação de desempenho térmico, três procedimentos básicos alternativos podem ser adotados: *Procedimento 1, Procedimento 2 e Procedimento 3* (ABNT, 2004a, p. 23).

O *Procedimento 1*, simplificado, baseia-se na verificação do atendimento aos requisitos e critérios para paredes e coberturas estabelecidos pela ABNT nos documentos *Parte 4* (fachadas e paredes internas) e *Parte 5* (coberturas). A *Parte 4* adota como requisito a adequação das paredes externas e como critério seu valor de transmitância térmica, U , absorvância α e capacidade térmica, C_T , bem como áreas mínimas de aberturas para ventilação, apresentando apenas os níveis considerados mínimos. A *Parte 5* refere-se a coberturas, tendo, como requisito, o isolamento térmico da mesma e, como critérios, sua transmitância térmica, U , seu fator de ventilação do ático, FV (aplicável a áticos ventilados, Zona Bioclimática 8) e sua absorvância, α .

Em relação à avaliação de desempenho higrotérmico, a ABNT (2004b; 2004c) insere alguns parâmetros térmicos não indicados de forma explícita por ABNT (2005c): absorvância, α , de paredes e coberturas (implícito no fator de calor solar, FCS) e capacidade térmica, C_T , de paredes externas (implícito no atraso térmico). Além dessa formatação diferente entre os dois documentos, há diferenças nos próprios critérios adotados, como pode ser visto na *tabela 2.2*, que apresenta as recomendações para a Zona Bioclimática 3, à qual pertence Porto Alegre.

Tabela 2.2. Critérios para avaliação de desempenho higrotérmico segundo ABNT

recomendações	paredes		cobertura		
	ABNT (2005c)	ABNT (2004b)	ABNT (2005c)	ABNT (2004c)	
transmitância térmica máxima $U \left(\frac{W}{m^2 \cdot C} \right)$	3,60	$\alpha < 0,60$	$\alpha \geq 0,60$	M	2,30
		3,70	2,50	I	1,50
				S	1,00
absortância α	0,27*	$U \leq 3,70$	$U \leq 2,50$	M	sem exigência
		$\alpha < 0,60$	$\alpha \geq 0,60$	I	$0,26 < \alpha \leq 0,40$
				S	$\alpha \leq 0,25$
capacidade térmica mínima $C_T \left(\frac{kJ}{m^2 \cdot C} \right)$	não especifica de forma explícita (ver atraso térmico)	130	não especifica de forma explícita (ver atraso térmico)	não especifica	
aberturas para ventilação A (% da área do piso)	$15 < A < 25$	$A \geq 8$	—	—	
fator solar FCS (%)	4,0		6,5		
atraso térmico φ (h)	4,3	não especifica	3,3	não especifica	

*não especifica de forma explícita, os valores foram obtidos através da relação entre $FS = 100 \times U \times \alpha \times R_{se}$

(Fonte: ABNT, 2005c, 2004a, 2004b, 2004c)

A ABNT (2004b, 2004c) permite uma faixa mais ampla para valores de transmitância térmica, U , e absortância, α . Os valores recomendados pela ABNT (2004b, 2004c) são menos rigorosos do que os valores recomendados pela ABNT (2005c), com exceção dos níveis *I* e *S* especificados para a cobertura. Por exemplo, segundo as especificações da ABNT (2004b) para paredes, pode ter uma transmitância térmica da ordem de $3,60 \frac{W}{m^2 \cdot C}$ com uma absortância aproximada de $0,60$, enquanto que, a partir da especificação do fator de calor solar, FCS , este valor não poderia exceder $0,30$. Para o nível *M* da cobertura, a ABNT (2004c) não estipula um valor máximo de absortância. Deveria ser estipulado um valor máximo para evitar que houvesse ganhos significativos de calor devido à incidência de radiação solar direta sobre a mesma. A consideração da absortância através do FCS (ABNT, 2005c) é mais

favorável, pois permite a análise conjunta dos efeitos cor dos fechamentos e transmitância térmica dos mesmos.

A especificação da capacidade térmica total, C_T , do fechamento pela ABNT (2004b) contribui para o desempenho do fechamento frente variação das temperaturas do ar externo, t_e . No entanto, os parâmetros térmicos atraso térmico, φ , e o amortecimento, μ , também são importantes para as variações térmicas diárias verificadas em Porto Alegre, maiores do que $10,0\text{ }^\circ\text{C}$. Além disso, considerando dois exemplos apresentados em ABNT (2005b, p.21, 23) para paredes, verifica-se que as mesmas satisfazem aos critérios estabelecidos em ABNT (2004), mas não satisfazem o critério de valor máximo para o fator de calor solar, FCS , (ABNT, 2005b), podendo ocorrer discordância entre os dois documentos numa situação de avaliação desses fechamentos.

Em relação às áreas para aberturas para fins de ventilação, há diferença nos critérios adotados pelos dois documentos. Enquanto um estipula um mínimo de 15% da área do piso para aberturas (recomendado), o outro estipula apenas 8% , praticamente metade do primeiro valor (mínimo). Ou seja, o procedimento simplificado de avaliação de desempenho higrotérmico da ABNT (2004b) é menos rigoroso do que as recomendações da ABNT (2005c).

Concluindo a análise dos dois documentos, verifica-se que as zonas bioclimáticas foram ainda mais uniformizadas em ABNT (2004b; 2004c). Para as paredes, os valores de transmitância térmica, U , e absorvância, α , foram uniformizados para as zonas bioclimáticas 3 a 8, para capacidade térmica total, C_T , foram uniformizadas para as zonas bioclimáticas de 1 a 7 e as áreas de aberturas para as zonas de 1 a 6. O mesmo acontece para as coberturas que têm o mesmo valor de transmitância térmica, U , para as zonas 1 a 7 e o mesmo valor de absorvância, α , para as zonas de 3 a 8. O mesmo acontece com o documento da ABNT (2005c), porém em um grau menor. Para as paredes, existe uma diferenciação entre as zonas bioclimáticas maior do que em ABNT (2004b). Para as coberturas, também há uma diferenciação maior. Esta uniformidade já foi discutida anteriormente.

Além do exposto acima, o *Procedimento 1*, simplificado, não considera alguns parâmetros térmicos relativos à edificação que são importantes para a previsão de seu desempenho térmico, tais como atraso térmico, φ , coeficiente de amortecimento, μ , inércia térmica, riscos de condensações, entre outros.

O *Procedimento 2* baseia-se na verificação do atendimento aos requisitos e critérios por meio de simulação computacional, para dias típicos de projeto (verão e inverno), utilizando os dados climáticos apresentados por ABNT (2004a, p. 47). O documento estipula que, para unidades habitacionais isoladas, sejam simulados todos os recintos da unidade habitacional. Devem ser simuladas orientações solares tal que a janela de um dormitório ou sala esteja voltada a Oeste e outra parede exposta voltada a Norte (para verão, sem obstruções devido a edificações vizinhas ou vegetação) e janela de um dormitório ou sala esteja voltada a Sul e outra parede exposta voltada a Leste, adotando uma taxa de renovação de ar dos ambientes de *1 renovação/hora*. A ABNT (2004a) não aponta possíveis programas computacionais a serem utilizados nas simulações, o que pode levar a adoção de programas não adequados para este fim, embora especifique procedimentos de cálculo de algumas propriedades térmicas para cobertura e fechamentos (ABNT, 2005b). O *item A5* (ABNT, 2004a, p.47) determina que o edifício que não atender aos critérios estabelecidos para a condição de verão, pode ser avaliado em uma situação mais favorável (taxa de renovação de ar de *5 renovações/hora* e janela sombreada, impedindo *50%* da radiação total que por ela entraria sem o sombreamento). Este procedimento favorece as soluções arquitetônicas que não satisfizeram o critério mínimo, uma vez que permite uma avaliação menos rigorosa caso o valor estipulado não seja atingido pela abertura original. Os elementos de sombreamento fazem parte do projeto e devem ser avaliados junto com a proposta ou não devem ser considerados durante o processo de avaliação.

O *Procedimento 3* (ABNT, 2004a, p.53) baseia-se na verificação do atendimento aos requisitos e critérios por medições *in loco* em edificações ou protótipos na escala *1:1*. Deve ser medida a temperatura do ar interno, t_i (temperatura de bulbo seco, T_{BS}) no centro dos dormitórios e sala, a *1,20 m* do piso, segundo as especificações da ISO 7726 (ISO, 1996). Para a região bioclimática a qual pertence Porto Alegre, a edificação submetida a medições *in loco* deve possuir uma janela de dormitório ou sala voltada a Oeste e outra parede exposta voltada a Norte. O dia tomado para análise deve corresponder a um dia típico de projeto (verão e inverno) e precedido, pelo menos, por um dia similar, sendo o ideal adotar uma seqüência de três dias similares, analisando o último da seqüência. O dia típico é caracterizado pelo valor de temperatura do ar externo, t_e , medido no local. A ABNT (2004a, p.50, 51) apresenta valores de temperatura do ar externo, t_e , para os dias típicos de algumas cidades brasileiras. Ao considerar apenas a temperatura do ar interno, t_i , como variável na análise do desempenho térmico da edificação, a norma desconsidera aspectos do conforto do usuário que

não podem ser analisados de forma simplificada, tal como a umidade relativa do ar, UR , a ventilação, a temperatura radiante média, T_{rm} , entre outras variáveis.

A avaliação de desempenho térmico, segundo a abordagem da ABNT (2004a, p.23), é feita através da verificação da satisfação do requisito relativo ao conforto térmico do usuário para condição de inverno e verão separadamente. Os critérios e níveis de desempenho para a condição de inverno são estipulados a partir de valores mínimos diários de temperatura do ar interno, t_i , para os recintos de permanência prolongada (dormitórios e sala). Para o verão, são estipulados valores máximos diários de temperatura do ar interno, t_i , para os mesmos recintos.

Os valores de temperatura mínima do ar interno para a situação de inverno, menor ou igual a $12\text{ }^\circ\text{C}$ para o nível mínimo, menor ou igual a $15\text{ }^\circ\text{C}$, para o nível intermediário e menor ou igual a $17\text{ }^\circ\text{C}$, para o nível superior (ABNT, 2004a, p.24), estão abaixo do limite inferior da zona de conforto recomendado por GIVONI (1992). A norma privilegia as condições de verão ao ser mais flexível com os limites de conforto para a situação de inverno, que, para populações mais carentes, pode ser mais crítico do que a situação de calor, uma vez que estas populações muitas vezes não possuem condições de manter sistemas de aquecimento artificial interinamente (fogão a lenha, fogareiros a brasa, etc.). O limite mínimo pode ser aceitável para curtos períodos diários, tal como algumas horas da madrugada, quando as pessoas, em geral, encontram-se dormindo, com vestimentas mais pesadas, mas não em horários de vigília.

2.2.2 Avaliação de desempenho higrotérmico por comparação com um padrão

TURIK (1988) propõe uma especificação por desempenho higrotérmico para habitações unifamiliares de interesse social, estabelecendo um método de comparação com uma edificação considerada padrão atingido com a tecnologia disponível, para a região de Porto Alegre. Segundo o autor, o padrão adotado está relacionado às técnicas convencionais de construção, por todos conhecidas, e que são amplamente aceitas pela população. O esforço está em suplantando este padrão em busca de uma qualidade crescente para a habitação de interesse social. O trabalho consiste na avaliação do desempenho higrotérmico de uma

edificação, notoriamente aceita como padrão, e a partir daí, verificar a aceitabilidade ou não de outras soluções a partir da comparação de seu desempenho com o do padrão adotado.

Como o próprio TURIK (1988, p.33) salienta, embora não seja o método ideal, apenas um procedimento transitório até padrões absolutos serem definidos (que é a abordagem adotada no projeto de norma discutido no item anterior), permite que cada região possa definir seu padrão a partir das técnicas, custos e mão-de-obra disponíveis, considerando o contexto climático e as expectativas da população (contexto cultural). Tal solução permite que aspectos típicos de cada região possam ser considerados de forma explícita, o que aumenta a probabilidade de sucesso das soluções adotadas. Segundo TURIK (1988, p.34), a comparação não é feita a partir de modelos abstratos, mas através de protótipos construídos e que podem ser submetidos a diferentes avaliações que já foram discutidas na introdução deste trabalho, em especial, a avaliação do usuário, cuja satisfação é o fim último da edificação e é a mais difícil de ser prevista pois envolve variáveis subjetivas.

TURIK (1988) adota como padrão uma habitação considerada (na época da pesquisa), pela Companhia de Habitação do RS (COHAB/RS), como um modelo de desempenho higrotérmico devido a sua boa aceitação junto aos usuários. Esta edificação foi descrita no trabalho de TURIK e é identificada pelo código RS 16-I.3-42. TURIK (1988, p.61) afirma que outros fatores, além dos aspectos técnicos, são relevantes para o desempenho higrotérmico das edificações e devem ser considerados, tais como: orientação solar, cores externas de paredes e fechamentos opacos das aberturas, orientação da cobertura, entre outros. Ou seja, não é suficiente apenas determinar propriedades térmicas dos fechamentos da edificação. Características ligadas à forma como tais fechamentos estão dispostos espacialmente têm relevância no comportamento térmico final da edificação.

Outra questão apontada por TURIK (1988, p.35) diz respeito à formulação das exigências de inverno e verão para a habitação. As características dos fechamentos e volumetria da edificação podem ser bastante diferentes frente ao seu desempenho para condições de inverno e verão. Isto é importante para o clima de Porto Alegre, que apresenta uma diversidade de situações climáticas durante o ano que muitas vezes leva a características totalmente diferentes para a edificação frente às necessidades de inverno e de verão, dificultando ainda mais a tomada de decisão durante a concepção do projeto. Isso pode fazer com que a construção esteja subdimensionada ou superdimensionada em uma ou outra situação. A

definição da solução que ameniza as condições de conforto para verão, desfavorecendo o conforto térmico no inverno, ou vice-versa, deve ser definida. A partir de seus estudos, TURIK (1988, p. 203) define exigências mínimas de desempenho higrotérmico para os fechamentos de habitações unifamiliares térreas de interesse social, valores obtidos para a casa COHAB tipo RS 16-I.3-42, considerada o padrão inicial para o clima de Porto Alegre, expostas na *tabela 2.3*. O método proposto por TURIK (1988) é mais completo do que o projeto de norma, apresentado no item anterior, pois envolve temperaturas superficiais internas, t_{si} , pressão de vapor no interior dos fechamentos, heterogeneidade de temperaturas superficiais internas ρ_m , diferença entre temperaturas ambientais médias orientadas⁴, ΔT_{amb} , entre outros parâmetros.

Tabela 2.3. Exigências de desempenho higrotérmico para verão e inverno

exigências higrotérmicas de inverno			
requisitos	símbolo	critério	observações
coeficiente volumétrico de perdas térmicas globais	GV	$\leq 5,0\text{W/m}^3\text{°C}$	limitar perdas de calor e relacionado à transmitância térmica dos fechamentos
temperatura superficial interna das paredes	$t_{si \text{ parede}}$	$> 13,0\text{°C}$	para evitar condensação superficial interna nas paredes e calculado para uma temperatura do ar externo $t_e = 4\text{°C}$ e umidade relativa UR = 70%
temperatura superficial interna do forro	$t_{si \text{ forro}}$	$> 13,0\text{°C}$	para evitar condensação superficial interna no forro e calculado para uma temperatura do ar externo $t_e = 4\text{°C}$ e umidade relativa UR = 70% no interior
temperatura superficial interna sob a telha	houve condensação no padrão		aspecto que deve ser melhorado em outros protótipos
pressão de vapor num ponto interno às paredes ou forro	função do material que constitui a parede ou forro		verificada quando a parede ou forro forem compostos por duas ou mais camadas de materiais diferentes
fator de heterogeneidade de temperatura superficial interna (diferença máxima admitida na t_{sipar} entre dois pontos sobre a superfície da mesma parede)	ρ	$\leq 1,5$	para evitar pontes térmicas, surgimento de manchas de umidade, etc.

⁴ Similar à temperatura radiante plana T_{rp} adotada pela ISO7726.

Tabela 2.3. continuação

exigências higrotérmicas de inverno (cont.)			
requisitos	símbolo	critério	observações
diferença entre temperaturas ambientes médias orientadas	$\Delta t_{amb\ or}$	$\leq 4,0^{\circ}C$	para evitar a sensação de desconforto do usuário devido a perdas por radiação
infiltração máxima permitida	inf por m ² de abertura	$\leq 60m^3/h$	para evitar a penetração de correntes de ar indesejáveis
ventilação higiênica	dispositivos de abertura	permitem a retirada do ar viciado sem incidência de correntes de ar sobre as pessoas	
exigências higrotérmicas de verão			
coeficiente volumétrico de ganhos térmicos globais	GV	$\leq 37,0W/m^3$	limitar ganhos de calor e relacionado à transmitância térmica dos fechamentos. Não inclui a ventilação
diferença entre temperaturas ambientes médias orientadas	$\Delta t_{amb\ or}$	$\leq 4,0^{\circ}C$	para evitar a sensação de desconforto do usuário devido a ganhos por radiação vindos das paredes quentes
diferença de temperatura entre o ar interno e superfície interna do forro	percentagem de pessoas insatisfeitas	$\leq 10\%$	para evitar a sensação de desconforto do usuário devido a ganhos por radiação vindos do forro quente
ventilação de conforto	dispositivos de abertura	permitem ventilação noturna dirigida sobre paredes e/ou forro	permitir a ventilação sem riscos à segurança ou entrada de insetos, sem estar diretamente dirigida ao corpo dos usuários
ventilação de conforto por janela ensolarada	proteções solares	não impeça a penetração da ventilação e não promova irradiação	para evitar a penetração de radiação solar direta ou radiação de onda longa concomitante a ventilação desejável

(Fonte: TURIK, 1988)

Em relação ao coeficiente volumétrico global de perda e ganho de calor, este é uma forma mais elaborada de considerar parâmetros térmicos relativos aos fechamentos, incluindo o efeito provocado pela proporção entre seus diferentes tipos e áreas, bem como características específicas da ventilação dos cômodos, o que torna a análise mais acurada do que aquela proposta pelo conjunto de documentos da ABNT (2004, 2005)

2.2.3 Avaliação de desempenho higrotérmico por número de horas de desconforto térmico admissíveis

BARBOSA (1997) propõe um método para especificar e avaliar o desempenho higrotérmico de edificações residenciais unifamiliares aplicada para a cidade de Londrina, no estado do Paraná. A pesquisa inclui o levantamento entre as quarenta COHABs existentes no Brasil com o intuito de identificar o sistema construtivo mais utilizado na habitação unifamiliar de interesse social por este órgão, considerando esse sistema como referencial cultural conhecido (BARBOSA, 1997, p. 4) de forma similar ao que foi proposto por TURIK (1988). Em paralelo, para Londrina, é avaliada a sensação térmica dos usuários de cinco tipologias distintas voltadas à população de baixa renda, bem como medidas as temperaturas do ar interno, t_i , e levantadas as características construtivas das edificações que fizeram parte da pesquisa. Estes dados serviram para o ajuste da ferramenta de simulação computacional (programa COMFIE⁵) adotada para avaliar várias alternativas construtivas, estabelecendo horas anuais de desconforto promovidas pelas tipologias simuladas. A partir da satisfação dos usuários e das horas de desconforto térmico, $\Sigma h_{desconforto}$, indicadas na simulação, a autora estabelece um limite máximo de horas de desconforto térmico, $\Sigma h_{desconforto}$, admitido pela população considerada na pesquisa. Com este limite, o desempenho térmico mínimo desejável, para habitações de interesse social unifamiliares e térreas, para Londrina, é parametrizado, em função de variáveis térmicas, tais como transmitância térmica, U , absorvância, α , de superfícies, capacidade térmica, C_T . A pesquisa também demonstra a validade da zona de conforto definida por GIVONI (1992), para países em desenvolvimento, para a realidade sócio-cultural do público-alvo.

O método proposto por BARBOSA (1997) baseia-se na comparação das horas de desconforto térmico, $\Sigma h_{desconforto}$, promovidas por determinado sistema construtivo com as horas de desconforto térmico, $\Sigma h_{desconforto}$, consideradas aceitáveis para o referencial cultural assumido.

A abordagem de BARBOSA (1997) é semelhante à abordagem de TURIK (1988) em alguns aspectos. Ambos os autores buscam, na prática culturalmente aceita, uma referência para o estabelecimento de critérios para os parâmetros térmicos que definem o comportamento térmico das habitações e assumem que sempre que houver uma solução habitacional que

⁵ O programa COMFIE (*Calcul d'Ouvrages Multizones Fixe à une Interface Expert*) é descrito por BARBOSA (1997, p. 55).

suplante esta prática em termos de desempenho higrotérmico, mantendo os mesmos custos, a mesma passará a ser referência. A diferença entre as duas abordagens encontra-se principalmente nos parâmetros adotados. A ênfase da primeira autora está na escolha do número de horas de desconforto térmico admissíveis, $\Sigma h_{desconforto}$, como o principal critério de avaliação. Partindo da casa padrão COHAB tomada inicialmente como padrão cultural aceito, insere algumas modificações e simula seu comportamento térmico com o uso do programa COMFIE. As alterações não modificam a solução de compartimentação, mas a escolha de fechamentos opacos e tipos de aberturas (sombreamento e área para ventilação). A partir de várias simulações computacionais de variações melhoradas da referência assumida, conclui que as soluções podem ser classificadas em três grandes grupos. O primeiro grupo é formado por edificações que apresentam um total de horas de desconforto térmico anual, $\Sigma h_{desconforto}$, abaixo de 1.000 horas. O segundo e terceiro grupos possuem um total de horas de desconforto térmico, $\Sigma h_{desconforto}$, entre 1.000 a 1.500 horas e acima de 1.500 horas de desconforto térmico, $\Sigma h_{desconforto}$, anual respectivamente. Algumas soluções que se encaixam no primeiro grupo são adaptações da casa padrão COHAB (que originalmente se enquadra no segundo grupo) que não envolvem custos adicionais elevados. Sendo assim, a autora considera que o limite de 1.000 horas de desconforto anuais, correspondendo a pouco mais do que 10% de horas de desconforto térmico, $\Sigma h_{desconforto}$, no interior da habitação, é plausível frente à prática construtiva vigente (BARBOSA, 1997, p. 217).

A abordagem de BARBOSA (1997), relacionando o nível de satisfação dos usuários ao ambiente térmico interno, está sujeita a variações temporais e espaciais, pois a tolerância das pessoas é mutável e difícil de determinar. Haveria necessidade de uma análise de tolerância em uma amostra mais significativa para delimitar as margens de aceitabilidade de condições térmicas para o ambiente de forma mais decisiva. Esta abordagem exige que seja monitorada a percepção dos usuários em um período de pelo menos um ano, com medições *in loco* paralelas, e em diferentes realidades culturais e sociais, o que a torna bastante complexa e onerosa. Nem sempre é possível contar com a participação dos usuários para a coleta de informações sobre sua percepção, além de envolver questões de segurança relativas à exposição de instrumentos de medição durante um longo período em edificações habitadas. No entanto, a contribuição da autora, em relação a uma abordagem que defina valores para variáveis subjetivas relacionados à sensação de conforto dos usuários, associando-as a variáveis objetivas (horas de desconforto térmico admissíveis, $\Sigma h_{desconforto}$), a fim de ajustar os

métodos de avaliação, é fundamental. Tal abordagem permite incluir, numa análise inicial, possíveis variações locais relacionadas à cultura e aclimação do usuário final da habitação. A relação entre o grau de satisfação dos usuários com a prática usual da construção de habitações deveria estender-se por todo o território nacional, a fim de permitir a consolidação de um banco de dados mais consistente. Além do exposto, a autora demonstra que, com poucas alterações nos projetos que comumente vêm sendo construídos, sem custos adicionais relevantes, podem ser atingidas melhorias significativas no seu desempenho higrotérmico.

Em relação à adoção das horas de desconforto térmico, $\Sigma h_{desconforto}$, como critério na avaliação do desempenho higrotérmico de habitações, por ser expressa em termos absolutos, não considera o quanto estas horas estão afastadas do intervalo desejável de conforto. Neste caso, o conceito de graus-hora, g_{hora} , e graus-médios, $g_{médio}$, parece mais adequado. Além do exposto, não há diferenciação das horas de desconforto térmico, $\Sigma h_{desconforto}$, causadas por frio ou por calor, que pode ser um indicativo de estratégias bioclimáticas a serem inseridas no projeto de futuras edificações ou adaptações da mesma a outros contextos culturais ou ambientais.

MORELLO (2005c) sugere que o número de horas de desconforto térmico admissíveis, $\Sigma h_{desconforto}$, para uma edificação, quando não for possível levantar o grau de aceitabilidade dos usuários, seja o correspondente ao número de horas de desconforto térmico, $\Sigma h_{desconforto}$, que não podem ser resolvidas através do condicionamento térmico passivo, ou seja, não podem ser resolvidas através do projeto arquitetônico, conforme as zonas fornecidas pela carta bioclimática de GIVONI (1992). Esta seria uma forma mais direta de estipular a percentagem de horas de desconforto térmico admissíveis, $\Sigma h_{desconforto}$, enquanto não se dispõe de referências mais confiáveis, sendo de fácil compreensão por parte dos projetistas.

O presente estudo baseia-se nos resultados apresentados por BARBOSA (1997) como uma primeira aproximação ao número de horas de desconforto térmico admissíveis, $\Sigma h_{desconforto}$, para uma habitação térrea unifamiliar de interesse social, usado na análise das medições *in loco*, apresentada no *Capítulo 4*.

2.2.4 Avaliação de desempenho higrotérmico baseada na primeira e terceira abordagens

SILVA e BASSO (2002) apresentam uma abordagem para avaliação de desempenho térmico de cinco tipologias de habitação de interesse social, para Londrina, Paraná, usando os resultados encontrados por BARBOSA (1997) e as normas desenvolvidas pela ABNT (2005a, 2005b e 2005c). Esta abordagem faz uso de simulações computacionais para determinação dos parâmetros térmicos e variáveis térmicas internas.

Os requisitos considerados pelos autores são os seguintes:

- a) temperatura do ar interno (t_i) visando ao conforto térmico de inverno e verão;
- b) ventilação natural;
- c) propriedades térmicas (transmitância térmica U , atraso térmico α e fator de calor solar FCS) de paredes e cobertura.

O critério utilizado para o intervalo admissível de temperaturas para conforto térmico é baseado na proposta de GIVONI (1992), que define um intervalo de temperatura de conforto térmico para verão e para inverno, traduzidos em termos de horas de desconforto térmico admissíveis, $\Sigma h_{desconforto}$, conforme estudos efetuados por BARBOSA (1997). No entanto, os autores não utilizam o limite proposto pela autora, de *1.000 horas*, mas um limite equivalente ao número de horas de desconforto térmico, $\Sigma h_{desconforto}$, verificado no meio exterior, aproximadamente *30%*. Isto significa que a habitação não estaria diminuindo as horas de desconforto térmico $\Sigma h_{desconforto}$ para o meio externo, apenas amenizando-as, o que pode ser questionado, uma vez que o fim primordial de um abrigo é tornar as condições do ambiente menos inóspitas ao ser humano, adequando-as à sua necessidade. Embora diminua a distância existente entre a temperatura do ar interno t_i e o limite desejável de temperatura para conforto, o desconforto permanece.

Para a ventilação interna, os autores adotaram os critérios baseados no *Código de Edificações de Londrina* e em ABNT (2005c). O *Código de Edificações de Londrina* admite percentagens menores para as aberturas em função da área do piso para fins de ventilação natural dos

recintos. As propriedades térmicas de paredes e cobertura tiveram seus critérios definidos a partir das recomendações prescritas pela ABNT (2005c).

A partir das referências adotadas para simulação, SILVA e BASSO (2002) definiram uma pontuação para cada um dos requisitos considerados, que permitiu a classificação das cinco tipologias segundo o total de pontos alcançados. A *tabela 2.4* apresenta o sistema de classificação dos autores.

Tabela 2.4. Método de avaliação de desempenho térmico para habitações de interesse social proposto por SILVA e BASSO

requisito	critério	situação	pontuação	total parcial
temperatura do ar interno para verão	estar dentro do intervalo de $25,0^{\circ}\text{C} < T_i < 29,0^{\circ}\text{C}$	atende (admite-se 30% de horas de desconforto)	01 ponto por orientação	04 pontos
temperatura ar interno para inverno	estar dentro do intervalo de $18,0^{\circ}\text{C} < T_i < 25,0^{\circ}\text{C}$	atende (admite-se 30% de horas de desconforto)	01 ponto por orientação	04 pontos
ventilação interna – área das aberturas para ventilação	sala – $A \geq 2,00\text{m}^2$	atende	01 ponto	02 pontos
	dormitórios – $A \geq 6,25\% A_{\text{piso}}$	atende	01 ponto	
	somatório de todas as aberturas – $15\% A_{\text{piso}} \leq A \leq 25\% A_{\text{piso}}$	atende	02 pontos	02 pontos
propriedades térmicas das paredes	transmitância térmica $U \leq 3,60\text{W/m}^2\text{K}$	atende 3 critérios – 04 pontos	04 pontos	08 pontos
	atraso térmico $\phi \leq 4,3\text{h}$	atende 2 critérios – 03 pontos		
	fator de calor solar $\text{FCS} \leq 4,0\%$	atende 1 critério – 02 pontos		
propriedades térmicas da cobertura	transmitância térmica – $U \leq 2,0\text{W/m}^2\text{K}$	atende 3 critérios – 04 pontos	04 pontos	
	atraso térmico - $\phi \leq 3,3\text{h}$	atende 2 critérios – 03 pontos		
	fator de calor solar – $\text{FCS} \leq 6,5\%$	atende 1 critério – 02 pontos		
pontuação máxima: 20 pontos				

(Fonte: SILVA E BASSO, 2002)

Cada tipologia foi simulada de forma hipotética, desvinculada de uma realidade específica, portanto, foram feitas simulações segundo as quatro orientações solares possíveis (Norte, Sul, Leste e Oeste).

Em relação à atribuição dos pontos quanto às horas de desconforto térmico, $\Sigma h_{desconforto}$, feitas para as quatro orientações básicas (Norte, Sul, Leste e Oeste), a edificação pode apresentar um desempenho térmico aceitável em determinada situação e um desempenho térmico não aceitável em outra situação. Isto não invalida a solução arquitetônica, apenas restringe seu uso em uma situação específica, conforme a orientação em que a proposta apresenta melhor desempenho térmico. A análise segundo a orientação prevista em projeto permite uma comparação mais justa entre diferentes soluções.

Observa-se que, em relação às áreas disponíveis para ventilação, são adotados dois critérios, o *Código de Edificações de Londrina* e as recomendações de ABNT (2005c), sendo o primeiro menos rigoroso do que este último. Poderia ser considerado o nível mais rigoroso das duas situações aplicadas.

Quanto à pontuação dos itens, os mesmos poderiam possuir ponderações diferenciadas. Por exemplo, a pontuação atribuída às propriedades térmicas da cobertura e paredes pode ser diferenciada, de acordo com uma situação específica. No caso do verão, as superfícies expostas a Leste e Oeste são responsáveis por ganhos significativos de calor, bem como a cobertura. Seria desejável que, neste caso, a pontuação destes elementos fosse maior. Para a situação de inverno, a parede norte é responsável pelos maiores ganhos de calor durante o dia, e a parede sul, sempre sombreada, tende a apresentar as maiores perdas indesejáveis. Nesse caso, o desempenho térmico desses dois elementos poderia receber uma pontuação maior.

O grau de afastamento do item do critério adotado (situação suposta ideal ou mínima) poderia ser pontuado. Assim, uma solução que não satisfaz o critério, porém está mais próxima deste é preferível a uma solução que não satisfaz o critério, estando mais afastada do critério assumido. É mais fácil ajustar uma solução inadequada em um grau menor em relação ao valor estipulado do que uma solução muito aquém do desejável.

A ponderação poderia estar baseada nas percentagens de horas de desconforto térmico, $\Sigma h_{desconforto}$, resolvidas pelas diferentes estratégias bioclimáticas de projeto, conforme a carta

bioclimática de GIVONI (1992). Ou seja, no número de pontos ou horas de desconforto térmico, $\Sigma h_{desconforto}$, que se sobrepõem a uma determinada estratégia.

A abordagem proposta por SILVA e BASSO (2002) não contempla alguns aspectos apontados pela abordagem de TURIK (1988). No entanto, através de uma complementação dos documentos elaborados pela ABNT (2004, 2005), é bastante simples na sua forma de aplicação, o que se considera um ponto positivo para esta abordagem e é considerado na elaboração do método proposto nesta pesquisa.

Além de SILVA e BASSO (2002), GRIGOLETTI, SEDREZ e SATTLER (2002) e GRIGOLETTI (2001), a partir do método proposto pelos primeiros autores, submetem alguns protótipos habitacionais da Vila Tecnológica de Porto Alegre e o protótipo *Alvorada* à análise. Nessas avaliações, algumas alterações são feitas em relação ao método proposto por SILVA e BASSO (2002). As áreas para ventilação são consideradas como percentagens do piso determinadas pelo *Código de Edificações de Porto Alegre*. É considerada uma pontuação igual para cada um dos critérios satisfeitos e são introduzidas estratégias de projeto a serem contempladas pelos protótipos, tais como orientação da cobertura, orientação das aberturas de cômodos de permanência, fechamento de aberturas e posição de aberturas sobre paredes (ventilação cruzada).

Embora sejam acrescentados outros requisitos a serem satisfeitos pela edificação, muito pouco é avançado no que diz respeito à ponderação, à definição das horas de desconforto térmico admissíveis, $\Sigma h_{desconforto}$, adaptadas à situação climática de Porto Alegre e às especificações para ventilação, a fim de aproximar mais a avaliação de um melhor resultado para o desempenho higrotérmico das edificações. Cabem aqui as mesmas críticas encaminhadas à abordagem de SILVA e BASSO (2002). Neste estudo, possíveis avanços a serem incorporados a este sistema de avaliação são sugeridos.

2.2.5 Avaliação de desempenho higrotérmico através de método não prescritivo

AKUTSU, VITTORINO e PEDROSO (199?, p.35) apresentam um método para avaliação de desempenho térmico de habitações térreas de interesse social através da caracterização do

comportamento térmico da edificação (temperatura do ar interno, t_i , umidade relativa do ar, UR , velocidade do ar interno, v , e temperaturas superficiais internas, t_{si} , das vedações ou temperatura radiante média, T_{rm} , e orientada, T_{amb}). A análise destas variáveis térmicas internas pode ser feita através de medições *in loco* ou através de simulação computacional ou cálculos manuais.

O processo proposto está dividido nas cinco etapas que seguem:

- a) Etapa 1 – caracterização das exigências humanas de conforto térmico – segue as recomendações da norma ISO 7730 (ISO, 1994), sendo determinados: temperatura do ar interno, t_i , umidade relativa do ar, UR , velocidade do ar, v , temperatura radiante média, T_{rm} , temperatura radiante orientada, taxa metabólica e resistência térmica da vestimenta dos usuários;
- b) Etapa 2 – caracterização das condições típicas de exposição ao clima – é utilizada a abordagem de dia típico de projeto, baseado na frequência de ocorrência de determinadas condições climáticas, considerando um dia típico de projeto precedido pelo menos por um dia com características semelhantes, sendo preferível trabalhar com uma seqüência de três dias consecutivos semelhantes. No trabalho é proposto um zoneamento bioclimático que divide o território nacional em oito zonas bioclimáticas, estabelecido a partir das médias mensais de temperaturas máximas e mínimas diárias, amplitude térmica anual e umidade relativa do ar média anual;
- c) Etapa 3 – caracterização da edificação e sua ocupação através do período de ocupação, atividades típicas dos usuários, taxas de liberação de vapor d'água e calor devido ao uso da edificação e ventilação dos ambientes, uso de dispositivos de sombreamento, propriedades térmicas de materiais e componentes (capacidade térmica, resistência térmica, condutividade, absorvância, coeficiente de emissividade, forma, dimensões e orientação dos elementos e componentes);
- d) Etapa 4 – caracterização do comportamento térmico da edificação através de medições *in loco* ou cálculos do fluxo de energia térmica por condução em regime variável através dos fechamentos, temperaturas superficiais internas, t_{si} , das vedações, temperatura do ar interno, t_i , e renovações de ar por unidade de tempo;
- e) Etapa 5 – avaliação do desempenho térmico da edificação.

O método considera a taxa de metabolismo dos ocupantes como $47W/m^2$ e $70W/m^2$ (atividades de dormir e serviços leves), resistência térmica das roupas de $0,35clo$, $0,80clo$ e $2,00clo$ (roupas leves de verão, roupas pesadas de inverno e roupas muito pesadas como cobertores à noite, respectivamente), umidade relativa do ar entre 40 a 60% e temperatura radiante média,

T_{rm} , igual à temperatura do ar interno, t_i . O intervalo de conforto para temperatura do ar interno, t_i , sob as condições precedentes, é de $12,0\text{ }^\circ\text{C}$ a $29,0\text{ }^\circ\text{C}$, onde o primeiro limite corresponde à temperatura mínima do ar interno para situação de inverno, à noite, com os indivíduos deitados e cobertos, e o segundo limite, à temperatura máxima de verão, supondo uma velocidade do ar v igual a $0,5\text{m/s}$. Além disso, para a temperatura do ar interno, t_i , diurna, para situação de inverno, é imposto um limite mínimo de $17,0\text{ }^\circ\text{C}$, próximo do limite proposto por GIVONI (1998), considerando a velocidade do ar v de $0,25\text{m/s}$, serviços leves e roupas pesadas de inverno.

A partir das condições anteriores, três classificações são possíveis e estão indicadas na *tabela 2.5* a seguir. Além do método, o trabalho ainda apresenta a avaliação de alguns sistemas construtivos (paredes e coberturas) para diferentes regiões climáticas.

Para o Rio Grande do Sul, pertencente às zonas bioclimáticas 6 e 7 (temperaturas médias variando entre $10,0\text{ }^\circ\text{C}$ a $30,0\text{ }^\circ\text{C}$), boa parte das tipologias classificam-se nos níveis A e B (AKUTSU, VITTORINO e PEDROSO, 199?, p.39).

Tabela 2.5. Método de avaliação de desempenho térmico proposto por AKUTSU, VITTORINO e PEDROSO

nível	critérios para a situação de verão
nível A	a temperatura do ar interno é sempre menor ou igual a $29,0\text{ }^\circ\text{C}$ durante todo o dia
nível B	quando o valor máximo diário de temperatura do ar interno não ultrapassa o nível máximo diário da temperatura do ar externo
nível C	quando o nível máximo diário da temperatura do ar interno é superior ao valor máximo diário da temperatura do ar externo
nível	critérios para a situação de inverno
nível A	a temperatura do ar interno diurna é sempre maior ou igual a $17,0\text{ }^\circ\text{C}$
nível B	quando o valor mínimo diário da temperatura do ar interno nunca é inferior ao valor mínimo diário da temperatura do ar externo ($12,0\text{ }^\circ\text{C}$)
nível C	quando o valor mínimo diário da temperatura do ar interno é inferior ao valor mínimo diário da temperatura do ar externo ($12,0\text{ }^\circ\text{C}$)

(Fonte: AKUTSU, VITTORINO e PEDROSO, 199?, p.35)

As edificações que, para situação de inverno, são classificadas no nível *C*, não são aceitas. O método proposto por AKUTSU, VITTORINO e PEDROSO (1997, p.35) é simples de ser aplicado, desde que obtidos os parâmetros térmicos que permitam a análise de variações de temperatura diária do ar interno da edificação (seja através de cálculos manuais ou através de programas computacionais específicos para tal tarefa). No entanto, tal como já apontado nas discussões encaminhadas nas abordagens anteriores, aspectos quanto à orientação preferencial dos fechamentos da edificação não são contemplados pelo método. Além disso, como foi proposto por TURIK (1988), a temperatura radiante média, T_{rm} , é considerada igual à temperatura do ar interno, t_i , o que pode levar a desconforto causado pela transferência de calor por radiação devido a superfícies muito quentes ou muito frias. Também existem limitações no conceito de dia típico. Segundo GOULART (1997, p.11), a qual comparou os métodos baseados no conceito de dia típico de projeto desenvolvido por SATTLER (1989) e pelo IPT (AKUTSU e VITTORINO, 1991), este último é menos preciso, pois a amplitude diária de onda de temperatura do ar externo afasta-se da média real, bem como as próprias condições simuladas pelo dia típico são menos frequentes daquelas do método do primeiro autor.

Quanto à velocidade do vento, v , devido ao fato de não haver dados disponíveis para muitas das localidades analisadas, conforme apontado pelos autores, foi considerado 10% do valor sugerido pela NBR 6123 (ABNT, 1987), o que pode não expressar as condições reais em muitas situações, subestimando ou superestimando a ventilação para fins de ventilação higiênica ou de conforto.

Quanto aos critérios de classificação das habitações, para o nível *A*, na situação de inverno, é considerado o limite mínimo de temperatura do ar interno t_i diurna como 17,0°C. Ou seja, à noite as temperaturas do ar interno, t_i , não são limitadas, podendo haver situações em que se atinjam temperaturas do ar interno, t_i , inferiores aos 12,0°C indicados no método. Para a situação de verão, uma taxa de renovação de ar da ordem de 5 *renovações/h* é considerada, com velocidade do vento aproximada de 3m/s. Para a condição diurna em clima quente e seco é indesejável a captação do ar externo (quente), pois este pode aumentar as condições de desconforto no interior da edificação, a menos que sofra algum processo de resfriamento (massa de vegetação que filtra e arrefece a temperatura do ar externo, t_e , por exemplo). É necessário recomendar horários desejáveis de captação dos ventos mais frescos para a

situação de verão. Se a captação ocorrer a noite, dispositivos de segurança, tais como persianas e venezianas, para as janelas, devem ser previstos.

2.3 Condições climáticas na região de Porto Alegre

Este item descreve as condições climáticas de Porto Alegre, caracterizando o clima típico da região bem como discutindo as implicações para o comportamento térmico das edificações sujeitas a ele. As condições climáticas do meio natural são definidas pela temperatura do ar externo, t_e , umidade relativa do ar, UR , temperatura de ponto de orvalho, $t_{orvalho}$, radiação solar, I , e velocidade e direção dos ventos, v , já apresentadas no *item 2.1* deste capítulo.

O clima de um determinado lugar é o fator mais importante a ser considerado no projeto de um edifício (OLGYAY, 1998, p. 3; GOULART, 1997, p.1; SATTLER, 1987, p.1, *Appendix B*; MARKUS e MORRIS, 1980, p. 140). Ele é responsável não só pela definição dos parâmetros térmicos da edificação, como por fatores culturais relativos à adaptação do ser humano às condições climáticas (tolerância a temperaturas mais baixas ou mais altas, por exemplo).

As condições climáticas de Porto Alegre são descritas por diferentes autores, tais como MARQUARDT (1969), AROZTEGUI (1977), SATTLER (1987), UBER (1992) e GOULART (1997). Estes autores caracterizam as condições climáticas de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, através das variáveis enumeradas no primeiro parágrafo deste item. Neste trabalho, dados formatados de acordo com alguns destes métodos para Porto Alegre, RS, são apresentados, como subsídio para a análise da representatividade dos resultados obtidos por BECKER (1992) e MORELLO (2005a).

O Brasil, situado entre a linha do Equador e do Trópico de Capricórnio, apresenta seis tipos básicos de climas: equatorial, tropical, tropical de altitude, semi-árido, tropical atlântico e subtropical (LAMBERTS et al., 1987, p. 112).

O Rio Grande do Sul está dentro da zona subtropical úmida (LAMBERTS et al., 1997, p. 112; SATTLER, 1987, *Appendix B*, p. 1), a qual é caracterizada por temperaturas médias anuais abaixo de $20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, com amplitude média anual de onda de temperatura do ar externo de $9,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $13,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. A taxa de precipitação pluviométrica varia em torno de 1.500 a 2.000mm por ano,

com chuvas mais abundantes no período de outono e inverno. Os meses mais secos possuem pluviosidade mínima de *60mm*. Para regiões de grande altitude, o inverno atinge temperaturas mais baixas, podendo atingir temperaturas negativas.

O Rio Grande do Sul, de acordo com FORTES (1959, p.166), pode ser dividido em oito regiões climáticas: campanha, serra do sudeste, litoral, depressão central, vale do Uruguai, missões, planalto e serra do nordeste (ver *figura 2.1*).

Porto Alegre, com latitude, longitude e altitude iguais a $30^{\circ}02'S$, $51^{\circ}11'E$ e $4m$, respectivamente (GOULART, 1997, p.177), de acordo com FORTES (1959), situa-se na região de depressão central, no limite com a região chamada litoral. Estas regiões são caracterizadas por temperaturas médias superiores a $20,0^{\circ}C$ em pelo menos *4 meses* do ano, taxa de precipitação mensal de *70 a 190mm*, com cerca de *105 a 129* dias chuvosos por ano, velocidade média do ar em torno de *1 a 2m/s* com direção e sentido predominantes do quadrante Leste, com ondas de frio raras (entradas de massa de ar frio) e ondas de calor freqüentes (FORTES, 1959, p.167).

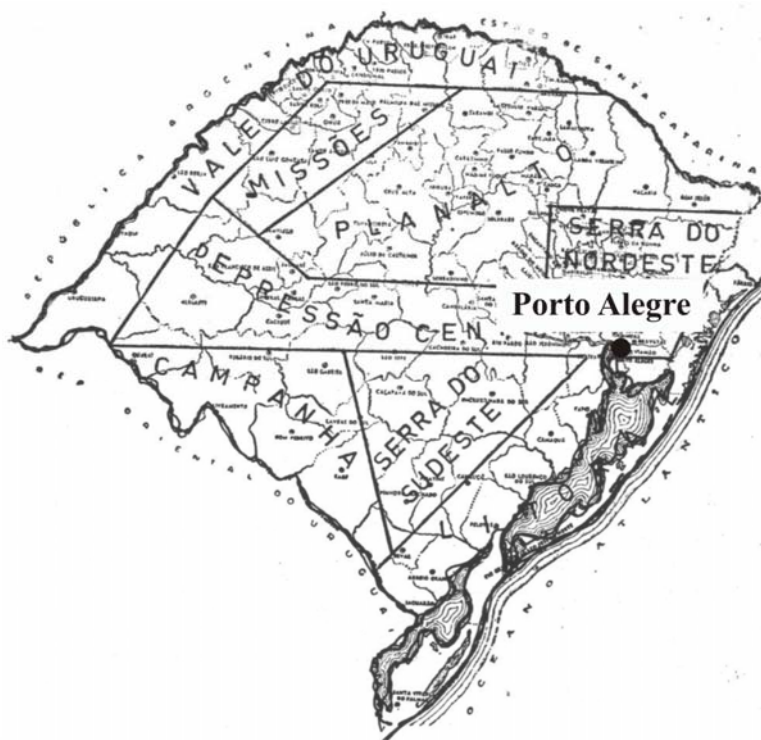


Figura 2.1. Divisão climática do Rio Grande do Sul (Fonte: FORTES, 1959, p. 166)

Segundo SATTLER (1987, p. 3, *Appendix B*), devido sua proximidade com uma grande massa de água (Lago Guaíba), com o litoral a Leste (100km) e com a serra a noroeste, a cidade de Porto Alegre possui uma umidade relativa do ar alta na maior parte do ano, o que, quando associada a altas temperaturas e baixa velocidade do ar (que ocorrem freqüentemente), é responsável por sensação de desconforto térmico no período de verão. Já no inverno, a umidade alta do ar faz com que problemas de condensação em superfícies internas das edificações sejam reclamações freqüentes de seus moradores. Além disso, quedas bruscas de temperatura são comuns na região (SATTLER, 1987, p. 3, *Appendix B*), devido a entradas de massas de ar frio provindas das direções sudoeste e oeste. Há registro de queda de temperatura da ordem de 20,6 °C em 24 horas, e queda de temperatura de 11,1 °C em 10 minutos (SATTLER, 1987, p. 3, *Appendix B*). No inverno de 1971, segundo moradores mais antigos da cidade, ocorreu um fenômeno raro em Porto Alegre: temperatura abaixo de zero com precipitação de neve.

A média anual (média tomada sobre temperaturas médias mensais) é 19,5 °C, com a máxima temperatura registrada de 40,7 °C e a mínima temperatura registrada de - 1,9 °C. A média das temperaturas máximas registradas nos meses de verão (meses de dezembro, janeiro, fevereiro) é de 30,1 °C. A média das temperaturas mínimas registradas nos meses de inverno (meses de junho, julho e agosto) é de 10,6 °C. Estes dados são apresentados por SATTLER (1987, p. 3, *Appendix B*).

Além dos dados anteriores, o autor relata episódios, observados em um período de trinta e sete anos, de ocorrência de quedas bruscas de temperatura (entradas de massas de ar frio ou frentes frias) e períodos de ondas de calor intenso. No período de 1912 e 1948 (MACHADO *apud* SATTLER, 1987), há dezesseis ocorrências com quedas de temperatura de 10,0 °C ou mais em um intervalo de tempo de 24 horas, sendo que a temperatura mínima caiu para 3,0 °C ou menos em 48 horas. A duração das quedas de temperatura foi de três a nove dias, em geral, não maior do que quatro dias em 58% das ocasiões. A freqüência anual máxima registrada no período foi de três quedas de temperatura em um ano. Estas quedas podem ocorrer entre maio e setembro, porém são mais comuns no mês de julho (56% das ocorrências registradas).

Para o período de registro de dados entre 1912 a 1948, ondas de calor (intervalo mínimo de três dias consecutivos com temperaturas mínimas diárias acima de 22,0 °C e máximas diárias acima de 33,0 °C) são verificadas em vinte e quatro ocasiões, segundo SATTLER (1987, p. 3,

Appendix B). Ocorrem com frequência entre os meses de dezembro e março, com 50% das ocasiões registradas no mês de janeiro. A duração das ondas de calor compreende três a sete dias, com 75% dos registros com duração menor do que quatro dias. Em Porto Alegre, as temperaturas mais altas registradas, em geral, não estão associadas às ondas de calor. O mesmo não ocorre com as frentes frias. Devido à ocorrência de frentes frias e ondas de calor, é importante a análise do comportamento térmico das habitações tomadas como referência (*Aglotec e Alvorada*) frente a tais fenômenos, que é efetuada no *Capítulo 4*.

Tabela 2.6. Normais Climatológicas no período de 1961 a 1990, para Porto Alegre

mês	temperatura do ar (°C)					UR média (%)	nebulosidade média (1 a 10)	precipitação pluviométrica média (mm)	insolação anual (h)	pressão atmosférica média (mbar)
	média das máx.	média das mín.	máx. absoluta	mín. absoluta	média					
jan	30,2	20,5	39,1	11,4	24,6	71,0	5,3	100,1	239,0	1.007,6
fev	30,1	20,8	37,9	12,6	24,7	74,0	5,1	108,6	208,1	1.008,5
mar	28,3	19,3	38,1	9,6	23,1	75,0	5,5	104,4	200,7	1.010,2
abr	25,2	16,3	34,6	6,8	20,1	77,0	5,1	86,1	180,3	1.012,2
mai	22,1	13,0	32,6	3,3	16,8	81,0	5,5	94,6	166,1	1.013,6
jun	19,4	10,7	31,5	0,7	14,3	82,0	5,8	132,7	136,0	1.014,7
jul	19,7	10,7	32,9	1,2	14,5	81,0	5,7	121,7	148,6	1.015,5
ago	20,4	11,5	34,9	1,1	15,3	79,0	5,8	140,0	151,1	1.014,4
set	21,8	13,1	35,8	2,2	16,8	78,0	6,0	139,5	151,2	1.013,6
out	24,4	15,0	36,5	6,2	19,3	74,0	5,6	114,3	201,9	1.011,3
nov	26,7	17,0	39,8	8,7	21,3	71,0	5,4	104,2	216,6	1.009,0
dez	29,0	18,9	39,2	11,4	23,2	69,0	5,0	101,2	245,2	1.007,7
A			39,8	0,7					2244,6	
média	24,8	15,6			19,5	76,0	5,5	1347,4		1.011,5

* nebulosidade média considerando a quantidade relativa de nuvens visíveis no céu, onde 0 equivale a céu totalmente descoberto (claro) e 10 equivale a céu totalmente encoberto

(Fonte: INMET, 2006)

A *tabela 2.6* apresenta as normais climatológicas para Porto Alegre no período compreendido entre 1961 a 1990 (INMET, 2006).

GOULART (1993, 1997) analisa e formata dados meteorológicos direcionados ao projeto de edificações e análise de sua eficiência energética para quatorze cidades brasileiras, entre as quais está Porto Alegre, RS. Entre as abordagens estudadas e aplicadas pela autora encontram-se: temperatura de projeto, graus-dia e graus-hora, temperatura BIN (intervalo de base), ano climático de referência e dia típico de projeto.

Tabela 2.7. Valores de temperatura BIN anuais para Porto Alegre, tomados em períodos diários de seis horas

intervalo da temperatura do ar externo (°C)	horário (h)				%	%
	1 e 6	7 e 12	13 e 18	19 e 24	< 19,0 °C*	> 29,0 °C*
-1 a 1	4				0,08	
2 a 4	28	10		7	0,79	
5 a 7	86	42		39	3,49	
8 a 10	168	114	13	87	7,98	
11 a 13	394	226	99	248	20,22	
14 a 16	502	370	228	428	31,93	
17 a 19	519	369	310	501	35,51	
20 a 22	377	404	355	480		
23 a 25	104	342	455	294	conforto térmico	
26 a 28	8	207	332	78		
29 a 31		87	245	21		66,35
32 a 34		18	122	7		27,63
35 a 37		1	31			6,02

* percentagem sobre o total de horas fora do intervalo de 19,0°C a 29,0°C (aproximadamente o intervalo de conforto de Givoni) abaixo de 19,0°C ou acima de 29,0°C

(Fonte: adaptado de GOULART, 1997, p. 179)

A temperatura BIN apresenta o número de horas em que a temperatura do ar externo está dentro de um intervalo geralmente considerado de $3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ e em diferentes períodos do dia (três ou mais períodos diários) (GOULART, 1997, p. 7). A *tabela 2.7* apresenta os valores de temperatura BIN para Porto Alegre (GOULART, 1997, p. 179).

As temperaturas do ar externo superiores a $29,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ estão distribuídas em apenas três intervalos de $3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Entre $29,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $31,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ temos $66,4\%$ das horas, entre $32,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $34,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, temos $27,6\%$ das horas e entre $35,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $37,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, temos $6,0\%$ de horas, considerando a percentagem total equivalente ao número total de horas com temperatura acima de $29,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. O indivíduo está, em $94,0\%$ das horas em que a temperatura é superior a $29,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, sujeito a uma temperatura do ar externo, t_e , de no máximo $5,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ acima do limite superior de conforto. Os horários em que ele está sujeito a estas condições são durante o dia, onde poderá fazer uso da ventilação natural para amenizar suas condições de conforto, desde que o ar externo esteja a uma temperatura que permite seu uso para fins de ventilação de conforto. Neste caso, segundo GIVONI (1992, p.21), o limite de conforto superior pode chegar a $32,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, desde que com ventilação da ordem de $2,0\text{ m/s}$.

Para temperaturas do ar externo inferiores a $18,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, neste caso, $19,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, para manter os intervalos de temperatura do ar expressos na *tabela 2.5*, o indivíduo está sujeito a temperaturas do ar $6,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ abaixo do limite inferior de conforto (temperatura do ar de no mínimo $14,0\text{ }^{\circ}\text{C}$) em $67,4\%$ das horas. Em $87,7\%$ das vezes está sujeito a temperaturas do ar de até $11,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Neste caso, temperaturas do ar mais baixas ocorrem durante a noite, principalmente durante a madrugada. Nestes horários, em geral, as pessoas estão em suas casas e o desconforto por frio pode ser amenizado pela envolvente da edificação. A situação é mais desfavorável para a condição de frio do que para a condição de calor.

A análise dos graus-hora g_{hora} para Porto Alegre (GOULART, 1997, p. 177) indica que, considerando uma temperatura do ar interno, t_i , de $18,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, o número de graus-hora anuais para aquecimento são $15.825,2$ graus-hora, enquanto que para refrigeração, considerando uma temperatura do ar interno de $29,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, temos $1.277,3$ graus-hora. Ou seja, o valor de graus-hora para a situação em que um indivíduo sentiria frio (temperaturas do ar abaixo do limite inferior de conforto) é maior do que para a situação em que o indivíduo sentiria calor (temperatura do ar acima do limite superior de conforto).

A análise das temperaturas BIN e dos graus-hora justificam uma maior preocupação com o desempenho higrotérmico da edificação para a situação de inverno ou condição de frio.

Em relação aos ventos na região, segundo SATTLER (1987, p. 4, *Appendix B*), a zona anticiclone semipermanente situada sobre o Oceano Atlântico, na latitude aproximada de 30°Sul , faz com que haja massas de ar carregadas de umidade locomovendo-se do oceano em direção ao continente, determinando ventos predominantemente vindos das direções Sudeste e Leste. Durante o inverno há a possibilidade de massas de ar frio atingirem a região, vindas da direção Sul-Sudoeste. Massas de ar quente e seco podem atingir a região, vindas da direção Oeste. GOULART (1997, p. 197) apresenta a frequência mensal da direção dos ventos em Porto Alegre. A autora também apresenta diagramas mensais contendo a intensidade, direção e sentido da velocidade dos ventos para cada mês do ano. A *tabela 2.8* que segue traz a frequência da velocidade dos ventos para cada mês do ano, bem como seus valores médios mensais e anuais, segundo GOULART (1997, p. 197).

Tabela 2.8. Velocidade dos ventos para Porto Alegre, de acordo com sua frequência de ocorrência, e valores médios mensais e anuais

mês	máximo	99%	95%	90%	média	mês	máximo	99%	95%	90%	média
jan	18,0	10,3	8,2	6,7	3,2	jul	15,4	10,3	7,2	6,2	2,5
fev	18,0	9,8	7,7	6,2	3,0	ago	16,5	10,3	7,7	6,2	2,8
mar	15,4	9,2	7,2	6,2	2,8	set	20,6	10,3	8,2	6,6	3,2
abr	15,4	8,2	6,7	5,1	2,5	out	18,0	10,3	8,2	7,2	3,5
mai	25,2	8,2	6,2	5,1	2,1	nov	22,1	11,3	8,2	7,2	3,6
jun	20,6	9,2	6,7	5,1	2,3	dez	20,6	10,8	8,2	7,2	3,5

(Fonte: GOULART, 1997, p. 197)

Para os meses considerados mais quentes, janeiro e fevereiro, a velocidade média dos ventos é de $3,2\text{m/s}$ e $3,0\text{m/s}$ respectivamente.

A *tabela 2.9* e a *figura 2.2* apresentam as frequências das direções dos ventos para cada mês do ano, conforme dados de GOULART (1997, p. 198). A direção preferencial dos ventos,

para os meses considerados mais quentes, janeiro e fevereiro, é Leste e Sudeste, sendo que a direção Leste apresenta uma maior frequência do que a direção Sudeste.

De acordo com GOULART (1997) e SATTLER (1987), entre os meses de outubro a janeiro, pode-se contar com ventos em 65% do tempo, com velocidade média de 2,2m/s, soprando preferencialmente da direção Leste e Leste-Sudeste.

Tabela 2.9. Frequência mensal da direção dos ventos para Porto Alegre

mês	frequência mensal segundo a direção (%)							
	N	NE	L	SE	S	SO	O	NO
jan	3,0	7,2	34,1	28,0	6,9	4,8	8,5	7,6
fev	2,5	7,2	34,4	26,8	8,3	4,3	9,1	7,4
mar	2,7	8,5	32,4	26,4	7,4	5,3	10,4	6,9
abr	2,8	7,6	29,2	20,1	8,8	6,6	16,2	8,8
mai	2,6	8,0	25,3	18,7	8,1	7,9	18,5	11,0
jun	3,0	9,0	25,1	14,6	10,3	7,9	19,3	10,7
jul	3,6	8,8	27,1	14,1	8,5	7,3	20,5	10,1
ago	3,2	9,1	28,9	20,2	9,5	6,6	14,9	7,5
set	1,8	6,0	32,2	25,6	10,6	6,4	12,1	5,4
out	1,6	6,2	35,0	26,8	9,3	6,0	10,5	4,7
nov	1,9	5,1	35,6	28,8	8,7	4,6	10,1	5,3
dez	2,6	6,2	34,5	27,4	8,7	5,0	8,7	6,9

(Fonte: adaptado de GOULART, 1997, p. 198)

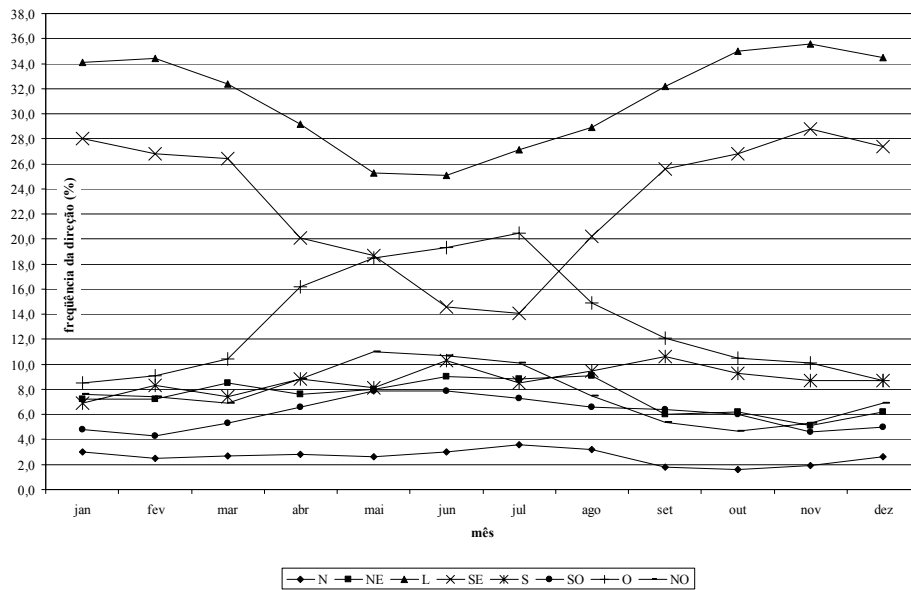


Figura 2.2. Frequência mensal da direção do vento para Porto Alegre, conforme GOULART (1997, p. 198)

FERRARO e HASENACK (2000) apresentam dados de temperatura do ar externo, t_e , e umidade relativa do ar UR obtidos junto ao 8º Distrito de Meteorologia de Porto Alegre, para o intervalo que abrange 1916 e 1988. Apesar dos valores não serem totalmente concordantes com as Normais Climatológicas (INMET, 2006), são bastante próximos. Segundo FERRARO e HASENACK (2000), a temperatura média, no verão, é de $24,3\text{ }^\circ\text{C}$, no inverno, de $14,7\text{ }^\circ\text{C}$. Segundo as Normais Climatológicas, estes valores são $24,2\text{ }^\circ\text{C}$ e $14,9\text{ }^\circ\text{C}$ respectivamente, praticamente iguais aos valores apresentados por FERRARO e HASENACK (2000). O mês de julho apresenta a média de temperatura mais baixa ($14,4\text{ }^\circ\text{C}$), sendo o mês mais frio do ano, enquanto que os meses de janeiro e fevereiro são os mais quentes, com temperaturas médias de $24,7\text{ }^\circ\text{C}$ e $24,6\text{ }^\circ\text{C}$ respectivamente. Segundo as Normais Climatológicas, estes meses possuem valores de temperatura média de $19,6\text{ }^\circ\text{C}$, $24,7\text{ }^\circ\text{C}$ e $24,5\text{ }^\circ\text{C}$, respectivamente. O mês de julho, neste caso, possui uma temperatura superior ao registrado por FERRARO e HASENACK (2000).

Segundo AROZTEGUI (1977) e UBER (1992), os valores mínimos diários de temperatura ocorreram entre 5 e 7 horas da manhã e os valores máximos entre 14 e 16 horas. Este padrão é repetido durante todo o ano. É desejável que a temperatura mínima, no inverno, e máxima, no verão, no interior da edificação não sejam coincidentes com estes horários.

Em relação às amplitudes diárias de onda de temperatura do ar externo, segundo registros efetuados por BECKER (1992, p. 11), uma amplitude média de $9,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, ocorrendo $15,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ de amplitude com frequência, cerca de cinco dias dos dezesseis dias considerados em sua pesquisa, sendo que a máxima amplitude de onda de temperatura do ar externo registrada atingiu $22,7\text{ }^{\circ}\text{C}$.

MORELLO (2005a, p.102), que acompanhou a variação de temperaturas do ar externo, t_e , e temperatura do ar interno t_i por um período mais longo do que BECKER (1992) (um ano), apresenta registros de grandes variações de temperatura ao longo do dia para todos os períodos do ano. Para o inverno (23 de junho a 22 de setembro), a amplitude média de onda de temperatura do ar externo foi de $22,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, com amplitude máxima registrada no período de $23,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (MORELLO, 2005a, p. 106). Para a primavera, a amplitude média de onda de temperatura do ar externo atinge valor aproximado de $20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, com máxima amplitude térmica registrada de $21,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (MORELLO, 2005a, p. 119). Para o verão, a amplitude média de onda de temperatura do ar externo está entre $10,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $14,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, com amplitude máxima registrada no período de $20,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (MORELLO, 2005a, p. 133). Para o outono, a amplitude média da onda de temperatura do ar externo está em torno de $18,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, com amplitude máxima registrada no período de $20,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (MORELLO, 2005a, p. 146). Os dados obtidos por MORELLO (2005a) corroboram dados obtidos por BECKER (1992) e a afirmativa de AROZTEGUI e BRIZOLARA (1980, p. 3), em relação à amplitude de onda temperatura do ar externo característica de Porto Alegre, acima de $10,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, o que pressupõe a possibilidade de uso de inércia térmica no controle do ambiente térmico do interior das edificações. RIVERO (1985, p. 48) defende o uso da inércia térmica (através da escolha do atraso térmico e do coeficiente de amortecimento dos fechamentos) para locais com amplitudes diárias de temperatura do ar externo superiores aos $14,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ou quando o clima local apresentar os fenômenos de frentes frias ou ondas de calor, tal como acontece na região de Porto Alegre.

A ABNT (2004a) recomenda valores a serem adotados, em simulações computacionais para temperatura de bulbo seco, T_{BS} , amplitude diária de onda de temperatura do ar externo, temperatura de bulbo úmido, T_{BU} , radiação solar e nebulosidade, para vinte e seis cidades brasileiras (todas as capitais de estado, exceto Palmas, e Brasília). A *tabela 2.10* apresenta estes dados para a cidade de Porto Alegre.

Tabela 2.10. Dados de dias típicos de verão e inverno para Porto Alegre, segundo ABNT

	dia típico de inverno	dia típico de verão
temperatura mínima diária (°C)	4,3	-
temperatura máxima diária (°C)	-	35,9
amplitude diária de temperatura do ar externo	8,6	9,6
temperatura de bulbo úmido (°C)	12,1	23,9
radiação solar total (Wh/m ²)	2.410	5.476
nebulosidade (escala de 1 a 10)	6	5

(Fonte: ABNT, 2004a, p. 50, 51)

A radiação solar não está especificada segundo a orientação, bem como não é indicada a sua variação horária, informações consideradas importantes para a análise do efeito da temperatura ar-sol, T_{ar-sol} . Existe também discordância em relação às amplitudes médias diárias de onda de temperatura do ar externo, que para a ABNT (2004a, p. 50, 51), são menores do que as consideradas por outros autores, tais como AROZTEGUI e BRIZOLARA (1980) e GOULART (1997, p. 195). Os valores assumidos por AROZTEGUI e BRIZOLARA (1980) serão apresentados no *item 2.5.1*. GOULART (1997, p. 195) apresenta como valor de amplitude diária média anual de onda de temperatura do ar externo $10,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, para Porto Alegre, sendo que a temperatura média das máximas registradas é de $23,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, considerando os doze meses do ano.

2.4 Outros estudos relevantes para a pesquisa

Este item aborda outros textos relevantes ao estudo, ora referindo-se a habitações de uso residencial, ora referindo-se a avaliações de componentes da construção, e que servem de apoio à definição do método proposto. Os textos estão apresentados em ordem cronológica. Os estudos são os seguintes: AROZTEGUI e BRIZOLARA (1980), com avaliação de desempenho térmico de paredes de concreto; BECKER (1992), como avaliação de desempenho térmico de um protótipo de habitação de interesse social em Cachoeirinha, região metropolitana de Porto Alegre, chamado *Aglotec*; PAPST (1999) e GOULART (2004), com

avaliação de edificações de uso residencial em Florianópolis, Santa Catarina, e MORELLO (2005a), com avaliação do comportamento térmico de um protótipo de habitação de interesse social em Porto Alegre, chamado *Alvorada*.

2.4.1 Abordagem do estabelecimento de exigências de desempenho térmico de paredes feitas de concreto

Este estudo, anterior ao trabalho de TURIK (1988), é considerado relevante por definir parâmetros térmicos para um subsistema da habitação, as paredes, e por considerar a análise da inércia térmica da edificação através do conceito de superfície pesada equivalente, *SPE*, também considerado pela ABNT (2005c), porém de forma qualitativa.

ARZTEGUI e BRIZOLARA (1980) propõem uma abordagem de estabelecimento de exigências de desempenho térmico de paredes feitas de concreto de diversos tipos e dirigidas à habitação de interesse social. Para a definição do desempenho exigido, escolhem um padrão de construção já considerado adequado para as condições culturais, ou seja, para a realidade de Porto Alegre, a partir de habitações implantadas pela COHAB-RS.

As etapas seguidas pelos autores incluem a definição das exigências climáticas através de parâmetros para inverno e para verão. Definem o padrão de parede aceita a partir da caracterização de seu desempenho térmico. Este padrão é escolhido a partir da experiência da COHAB-RS. Logo após, é encaminhada a validação dos valores obtidos pelo padrão através de uma análise de problemas de inverno e verão separadamente. Uma vez definido o padrão, procedem à avaliação das paredes de concreto, comparando seu desempenho com o desempenho padrão. O princípio adotado baseia-se em uma exigência da própria COHAB: novas tecnologias para vedações devem, para serem aceitas, apresentar um desempenho igual ou superior à prática consolidada (ARZTEGUI e BRIZOLARA, 1980, p.1). Segundo os autores e através da experiência da COHAB-RS, para as condições climáticas do RS e para as exigências sócio-culturais da população alvo, uma parede simples (fechamento opaco), com 0,15m de espessura, com revestimento interno e externo em argamassa, de tijolo maciço, satisfaz as necessidades de conforto higrotérmico para habitações de interesse social (ARZTEGUI & BRIZOLARA, 1980, p.7). Tal parede possui as propriedades físicas e térmicas expressas na *tabela 2.11*.

Tabela 2.11. Propriedades físicas e térmicas para a parede padrão das condições culturais de habitação de interesse social no RS

material	espessura e (m)	densidade	condutividade térmica	calor específico
		$\rho \left(\frac{kg}{m^3} \right)$	$\lambda \left(\frac{W}{m^{\circ}C} \right)$	$c \left(\frac{kJ}{kg^{\circ}C} \right)$
tijolo maciço	0,105	1.600,0	0,700	0,92
revestimento externo em argamassa	0,020	1.900,0	1,300	1,00
revestimento interno em argamassa	0,015	1.700,0	1,000	1,00
valores ponderados	0,140	1.653,4	0,818	0,94

(Fonte: AROZTEGUI e BRIZOLARA, 1980, p. 7)

Os autores propõem a caracterização do desempenho térmico da parede padrão através de quatro parâmetros: resistência térmica total, R_T , absorvância, α , coeficiente de amortecimento, μ , e superfície pesada equivalente, SPE .

O valor da resistência térmica total, R_T , é importante para a análise dos problemas do período de inverno, onde o regime de variação de temperaturas do ar interno, t_i , pode ser considerado como estacionário ou permanente. Para o verão, em que o regime deve ser considerado variável, a análise do efeito das radiações solares é importante, daí a consideração dos coeficientes de absorção α e amortecimento, μ (ARZTEGUI e BRIZOLARA, 1980, p. 8). Em relação à superfície equivalente pesada, SPE , este parâmetro térmico permite a análise do efeito da inércia geral da edificação obtido pelo acúmulo de calor pelas paredes (ARZTEGUI e BRIZOLARA, 1980, p. 9). Ele será expresso em termos de categoria de inércia da edificação. Considera a introdução do conceito de superfície pesada equivalente, SPE , importante na análise de inércia térmica da edificação, portanto, este parâmetro térmico é considerado no *item 2.5.3.7*.

Uma vez definidos quais os parâmetros térmicos a serem considerados, os autores procedem à caracterização do padrão, obtendo os resultados expressos na *tabela 2.12*.

Tabela 2.12. Propriedades térmicas de paredes do padrão adotado como referência cultural para Porto Alegre

parâmetro térmico	critério	observações
resistência térmica $R_t \left(\frac{m^2 C}{W} \right)$	0,17	não foram consideradas a R_{se} e a R_{si}
absortância α (adimensional)	0,4	uso de cores claras nas paredes na superfície exterior
coeficiente de amortecimento μ (adimensional)	0,25	
categoria de inércia (adimensional)	2,72	média

(Fonte: AROZTEGUI e BRIZOLARA, 1980, p. 10)

A validação dos valores obtidos através do padrão adotado é feita a partir da análise de problemas de inverno (possíveis condensações na face interna e desconforto por frio devido à radiação) e de problemas de verão (desconforto por calor devido à radiação). O padrão satisfaz as validações a que foi submetido, podendo apresentar alguns problemas na situação de inverno, como condensações em superfícies impermeáveis (banheiro e cozinha). Os autores sugerem uma ampla ventilação destes recintos para controlar o fenômeno. Problemas também são verificados para a parede Oeste, devido à radiação que não podem ser resolvidos por ventilação, pois ocorrem em um horário em que a temperatura do ar externo, t_e , está elevada (em torno de $28,0^\circ\text{C}$). Neste caso, salientam a importância do uso de cores claras nesta orientação, para a amenização do problema. Concluem que a parede está nos limites toleráveis das exigências de verão e inverno, considerando a população que será atendida pela mesma (AROTEGUI e BRIZOLARA, 1980, p. 12).

A abordagem assumida por AROZTEGUI e BRIZOLARA (1980) é adotada e ampliada no estudo de TURIK (1988), mudando o padrão: casa COHAB 15-I.2-36 para a casa COHAB 16-I.3-42. A motivação para a troca não ficou explícita, sendo empregado o mesmo argumento por todos os autores. Provavelmente, após oito anos de experiência, houve uma mudança na referência culturalmente aceita.

2.4.2 Análise de desempenho térmico de uma habitação unifamiliar térrea

O protótipo de habitação térrea unifamiliar de interesse social analisado por BECKER (1992) é considerado, neste trabalho, como uma das obras de referência para a definição de parâmetros térmicos para a proposta de um método de avaliação de desempenho térmico de habitações térreas unifamiliares de interesse social.

BECKER (1992, p. 5) apresenta registros não corridos de medições *in loco* entre 22 de março de 1990 a 02 de junho de 1990. Os dias selecionados para a análise perfazem um total de dezesseis dias de medições, com dados horários de temperatura do ar interno, t_i (quatro pontos), temperatura do ar externo, t_e (um ponto), temperatura superficial interna, t_{si} , dos fechamentos (onze pontos) e temperatura de globo, t_{globo} (quatro pontos). A temperatura do ar interno, t_i , e a temperatura de globo, t_{globo} , são medidas em pontos a 1,5m acima do piso e no centro geométrico dos cômodos analisados (BECKER, 1992, p. 36). Os valores de temperatura do ar externo, t_e , são obtidos junto ao protótipo e são aproximadamente iguais àqueles medidos junto à estação meteorológica do Aeroporto Internacional Salgado Filho (BECKER, 1992, p. 46). A edificação tem as frestas das esquadrias (mantidas fechadas) lacradas para reduzir ao máximo as infiltrações.

Os dias analisados são rotulados conforme suas propriedades térmicas: dias frios, com temperatura máxima do ar externo inferior a 14,0°C, dias quentes, com temperatura máxima do ar externo superior a 25,0°C, dias de conforto, com temperatura máxima do ar externo entre 14,0°C e 25,0°C, e dias de variação de temperatura significativa, quando há amplitude de temperatura do ar externo igual ou superior a 15,0°C.

Para a avaliação do desempenho térmico, são consideradas as recomendações da norma ANSI/ASHRAE 55-81 (BECKER, 1992, p. 72), a qual determina que o ambiente deve apresentar condições térmicas tais que 80 % dos usuários expressem satisfação com o mesmo.

A autora apresenta uma série de cinco dias consecutivos onde há uma mudança de temperatura do ar externo, t_e , de um dia considerado quente para um dia considerado frio, representando o comportamento térmico da edificação quando de uma frente fria, o que permite a análise da inércia térmica da edificação analisada através da relação entre a amplitude de onda de temperatura do ar interno e a amplitude de onda de temperatura do ar externo, caracterizando a inércia térmica do ambiente através das temperaturas superficiais

internas, t_{si} , dos fechamentos. Esta análise é feita em função da orientação do fechamento. Também são apresentados dados de uma seqüência de cinco dias consecutivos de medições (26 de abril a 30 de abril), caracterizada por uma situação de transição de temperatura, passando de um intervalo classificado como quente, para um classificado como de conforto, passando finalmente para um intervalo classificado como frio, permitindo uma análise da inércia térmica da edificação.

BECKER (1992), tendo medido temperaturas do ar interno, t_i , temperaturas superficiais internas, t_{si} , e temperaturas de globo, t_{globo} , para três cômodos do protótipo com orientações solares diferentes, efetua uma análise das diferenças de comportamento térmico dentro da edificação. É feita a análise entre a temperatura do ar interno t_i e a temperatura de globo, t_{globo} , um indicativo do fator de homogeneidade de temperaturas superficiais internas, t_{si} , responsáveis pelas trocas de calor por radiação entre o corpo humano e as superfícies circundantes, e análise das temperaturas superficiais internas, t_{si} (paredes, piso e forro) dos quatro ambientes internos monitorados durante o período. A autora também procede à análise da dimensão de fechamentos transparentes, sua orientação solar e a temperatura do ar interno. Analisa o comportamento térmico da cobertura, através das medições de temperatura superficial interna, t_{si} , da telha (em duas orientações distintas), temperatura do ar do ático (entre telha e forro), temperatura superficial interna t_{si} do forro (sensor voltado para o ambiente interno), totalizando dez pontos distintos. A partir destas análises a autora conclui que os critérios do IPT⁶ são satisfeitos pela edificação.

2.4.3 Uso de inércia térmica no clima subtropical

Estes estudos são considerados relevantes para este trabalho por abordar o tema inércia térmica, pelo uso do conceito de efusividade térmica como um indicativo da inércia térmica da edificação e pela abordagem de análise dos dados coletados, através do conceito de graus-médios. PAPST (1999) e GOULART (2004) analisam o uso de inércia térmica em edificações residenciais como estratégia bioclimática para o clima de Florianópolis, Santa Catarina. Os

⁶ O IPT (1981 *apud* BECKER, 1992, p. 80) sugere como critério para a temperatura radiante média, T_{rm} , que a diferença entre esta e a temperatura do ar interno não seja superior a 2,0 °C, para o inverno, e que a diferença entre a temperatura superficial interna dos fechamentos opacos (paredes) e a temperatura do ar interno não seja superior a 2,0 °C, para o verão. Ainda para o verão, estabelece como critério que a diferença entre a temperatura superficial do forro e a temperatura do ar interno não seja superior a 3,0 °C.

trabalhos fundamentam-se na premissa de que a inércia térmica é uma estratégia auxiliar no condicionamento térmico passivo, tanto no inverno quanto no verão, para o clima daquela cidade, o qual se caracteriza por apresentar quatro estações bem definidas e com a presença de frentes frias freqüentes ao longo do ano.

PAPST (1999) analisa quatro habitações de uso residencial (para a classe média), caracterizando algumas taxas da envolvente da edificação e propriedades térmicas dos fechamentos, bem como medindo a temperatura do ar interno, t_i , das edificações. As taxas da envolvente e as propriedades térmicas do fechamento, calculadas pela autora para as quatro residências analisadas, são área de uso fechada em relação ao volume fechado total da edificação, área de uso fechada pela área total da envolvente, área de cobertura pela área total da envolvente, área de esquadrias pela área de parede que a contém, por orientação solar, área total de esquadrias pela área total de paredes, área total de esquadrias pela área total de uso fechada, transmitância térmica de paredes e coberturas, capacidade térmica total de paredes e coberturas, atraso térmico total de paredes e coberturas e efusividade térmica por ambiente (PAPST, 1999, p. 46).

Para as três primeiras edificações, consideradas de padrão construtivo alto (voltados para a classe média alta), segundo a autora, são levantadas as temperaturas em sete pontos distintos do interior da edificação (dormitórios, salas de estar, cozinhas, porões e sótãos, quando existiam). Para a última edificação, de padrão construtivo voltado à classe média e com sistema construtivo pré-fabricado, são medidos dois pontos. As temperaturas do ar externo, t_e , umidade relativa do ar, UR , e as radiações solares globais, I_g , são adquiridas junto ao Laboratório de Energia Solar, da UFSC (LabSolar-UFSC), que se situa a 7km aproximadamente dos locais das residências do estudo.

A partir dos dados obtidos *in loco*, a autora elaborou seis formas de análise diferentes. Elaborou um gráfico de distribuição de temperaturas horárias do ar interno, t_i , e do ar externo, t_e , juntamente com os dados de radiação solar global, I_g . O objetivo é fazer uma análise do comportamento térmico da edificação (temperaturas do ar interno, t_i) em função das variações de temperatura do ar externo, t_e , principalmente no que tange às frentes frias, para a análise do efeito de inércia térmica da edificação, que é o objetivo principal da pesquisa. A autora organiza dados de temperaturas extremas diárias medidas (internas e externas) para análise das amplitudes de onda de temperatura do ar externo verificadas no

período da medição. A partir deste gráfico, é feita a análise do coeficiente de amortecimento térmico, μ , das edificações, sendo que, para este caso específico, o amortecimento refere-se ao ambiente, não ao fechamento. O atraso térmico, φ , diário dos fechamentos é encontrado a partir dos dados medidos através da análise da defasagem entre o horário de máxima temperatura registrada no meio exterior e o horário de máxima temperatura registrada no meio interior das edificações.

O estudo de PAPST (1999) serve de apoio para a análise dos dados obtidos *in loco* por BECKER (1992) e MORELLO (2005a) e que não foram efetuados por estes, tais como a análise do atraso térmico e coeficiente de amortecimento térmico do ambiente para condições de temperatura do ar externo específicas. O conceito de efusividade térmica do ambiente, ef_{amb} , é considerado para a análise da inércia térmica dos protótipos habitacionais, objetos de estudo nesta pesquisa.

GOULART (2004, p. 54), com o objetivo de caracterizar a inércia térmica de quatro habitações em Florianópolis, SC, apresenta valores de capacidade térmica (paredes, piso e cobertura), admitância e efusividade térmica para alguns ambientes das edificações nas quais foram obtidas medições *in loco* por aproximadamente um mês. Essas habitações foram escolhidas por apresentarem inércia térmica em diferentes graus. Segundo a autora, as edificações com maior inércia térmica (maiores valores para capacidade térmica, admitância e efusividade térmica, habitações 1 e 3) apresentaram menores amplitudes de onda de temperatura do ar interno comparadas com as amplitudes de onda de temperatura do ar externo, além de maior atraso térmico, indo ao encontro dos resultados obtidos pelas simulações, indicando que os parâmetros térmicos são indicadores adequados da inércia térmica das edificações.

2.4.4 Avaliação de comportamento térmico de protótipo habitacional

O protótipo de habitação térrea unifamiliar de interesse social analisado por MORELLO (2005a) é considerado, neste trabalho, como uma das obras de referência para a definição de parâmetros térmicos para a proposta de método de avaliação de desempenho térmico de habitações térreas unifamiliares de interesse social, objetivo desta pesquisa.

MORELLO (2005a) registrou medições *in loco* entre os dias 12 de maio de 2003 e 12 de maio de 2004, perfazendo um total de 8.784 horas de medições de temperatura do ar interno, t_i , e umidade relativa do ar interno UR , com sensores localizados a 1,10m de altura do piso. Os dados de temperatura do ar externo, t_e , umidade relativa do ar externo, UR , direção, sentido e intensidade dos ventos, v , e radiação solar global, I_g , foram obtidos junto à estação meteorológica do IPH/UFRGS (Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS), situada a cerca de 500m do local onde está construído o protótipo analisado. MORELLO (2005a, p. 89) compara dados de temperatura do ar externo, velocidade dos ventos e umidade relativa, medidos no ano em que foram realizadas as medições *in loco* no protótipo Alvorada (obtidos na estação meteorológica do IPH), com dados obtidos junto à estação meteorológica do Aeroporto Salgado Filho (entre 1951 e 1970) e 8º Distrito de Meteorologia de Porto Alegre (entre 1916 a 1988). O autor verifica que as temperaturas médias do ar externo, para o ano das medições (IPH, entre 2003 a 2004), são um pouco mais baixas do que as medidas nos dois centros meteorológicos utilizados como referência, as quais baseiam-se em períodos de tempo de dezenove e setenta e dois anos respectivamente. A diferença não ultrapassa 1,0 °C (MORELLO, 2005a, p. 91, tabela 3). O autor associa esta diferença às características do local de implantação do protótipo, situado em uma zona afastada do centro de Porto Alegre. Isto implica um mesoclima mais frio do que a zona mais densamente construída (onde estão os dois centros meteorológicos usados na comparação), além das diferenças inerentes aos métodos e aos próprios instrumentos utilizados nas medições.

Em relação à direção e sentido dos ventos no local, o autor verifica que há uma diferença significativa entre o que é constatado pela estação do Aeroporto Salgado Filho e pela estação do 8º Distrito de Meteorologia. A estação do IPH mediu ventos vindos preferencialmente dos quadrantes Norte e Noroeste (inverno) e Sul/Sudeste (nas demais estações). Os ventos vêm preferencialmente de Leste e Sudeste, de acordo com as duas estações meteorológicas centrais do município. Segundo o autor, a diferença pode estar associada ao local onde se situa a estação do IPH, com algumas barreiras muito próximas, tal como a topografia local, com presença de morros, e bosques de árvores de grande porte.

Para a análise do comportamento térmico da habitação, MORELLO (2005a, p. 101) organiza o período de medições em quatro intervalos distintos aproximadamente equivalentes aos períodos típicos das estações do ano: inverno (das 24 horas de 23 de junho às 23 horas do dia 22 de setembro de 2003, com 2.208 horas de medições ou noventa e dois dias), primavera

(das 12 horas do dia 23 setembro às 23 horas do dia 21 de dezembro de 2003, com 2.160 horas de medições ou noventa dias), verão (das 24 horas do dia 22 de dezembro, em 2003, às 23 horas do dia 22 de março de 2004, com 2.208 horas de medições ou noventa e dois dias) e outono (das 12 horas do dia 12 de maio de 2003 às 23 horas do dia 22 de junho de 2003 e das 24 horas do dia 23 de março de 2004 às 11 horas do dia 12 de maio de 2004, com 2.208 horas de medições ou noventa e dois dias). As análises encaminhadas englobam a comparação entre temperaturas do ar externo, t_e , e do ar interno, t_i , análise das temperaturas do ar externo, t_e , e do ar interno, t_i , da semana com a menor média das mínimas diárias registradas, análise das temperaturas do ar externo, t_e , e do ar interno, t_i , da semana com a maior média das máximas diárias registradas, maior amplitude de onda de temperatura do ar externo e o respectivo amortecimento da onda de temperatura do ar interno t_i , análise da temperatura de globo, t_{globo} , comparação entre a umidade relativa do ar externo e interno UR , graus-hora, g_{hora} , graus-médios, g_{medio} , carta bioclimática com dados externos e internos de temperatura e umidade relativa do ar, UR , para cada uma dos quatro intervalos separadamente (inverno, primavera, verão e outono) (MORELLO, 2005a, p.101). Analisa os graus-hora, g_{hora} , para o ano estudado e a carta bioclimática para o período completo de medições, tanto para o exterior quanto para o interior da edificação (MORELLO, 2005a, p.154).

O autor não analisa a inércia térmica a partir da efusividade térmica e da análise do comportamento da edificação frente a mudanças de temperatura frio-quente ou quente-frio, tal como encaminhados por PAPST (1999) e BECKER (1992). Tais análises serão complementadas neste trabalho no *Capítulo 4*.

Os levantamentos e análises de MORELLO (2005a), por constituírem objeto de aprofundamento desta pesquisa, são retomados no *Capítulo 4*. Além disso, a formatação dos dados para análise apresentada por MORELLO (2005a, p. 101), facilita a interpretação dos resultados: análise de seqüência de dias quentes e dias frios (sete dias), comparação de graus-hora, g_{hora} , e graus-médios, g_{medio} , para diferentes épocas (estações) do ano e entre as condições externas e internas à edificação, carta bioclimática por período do ano (estação) para interior e exterior da edificação. A análise de seqüência de dias frios e quentes permite verificar o grau de adequação da edificação, frente às condições externas, às necessidades de conforto térmico, através da verificação de propriedades térmicas de sua envolvente e as variáveis térmicas internas daí decorrentes para diferentes situações climáticas. Os graus-hora, g_{hora} , e os graus-médios, g_{medio} , podem resultar em um critério a ser considerado na avaliação

de desempenho higrotérmico de edificações, complementando o número de horas de desconforto térmico, $\Sigma h_{desconforto}$, por considerar o quão afastado está do limite de conforto a temperatura do ar interno, t_i , da edificação e que foi sugerido por PAPST (1999). Finalmente, a carta bioclimática, gerada a partir das condições climáticas simultâneas exterior e interior, permite que se verifique se as estratégias bioclimáticas adotadas estão sendo eficientes a fim de proporcionar o maior número de pontos dentro da zona considerada de conforto térmico.

2.5 Requisitos e critérios

Este item tem por objetivo definir os requisitos e critérios propostos para fins de avaliação de desempenho higrotérmico de habitações de interesse social. O método e os procedimentos adotados na análise por meio de cálculos matemáticos apóiam-se principalmente na abordagem apresentada por AROZTEGUI e BRIZOLARA (1980) e TURIK (1988), e na análise de outros estudos apresentados anteriormente.

2.5.1 Variáveis climáticas e variáveis térmicas internas adotadas

ARZTEGUI e BRIZOLARA (1980, p. 3) definem exigências climáticas regionais para o conforto térmico interno em edificações a fim de caracterizar o desempenho térmico de um sistema construtivo de paredes. Segundo os autores, nesta situação, que é similar ao presente estudo, é suficiente a definição de temperaturas médias do ar externo e suas variações, bem como a umidade relativa do ar e a intensidade de radiação solar global por orientação solar. As exigências relativas à temperatura do ar externo, t_e , e à umidade relativa do ar, UR , para inverno e verão, são apresentadas na *tabela 2.13*. As temperaturas do ar interno de cálculo para a situação de inverno e verão são iguais aos limites inferior e superior da zona de conforto estabelecidas por GIVONI (1992). Para a situação de inverno, considera-se o dia típico de projeto com nível 10%, conforme GOULART (1997, p. 193). Para a situação de verão, considera-se, para temperatura do ar externo, t_e , a temperatura ar-sol, T_{ar-sol} , conforme cálculos apresentados no *Anexo 2* deste estudo, conforme AROZTEGUI (1980, p. 14).

Tabela 2.13. Exigências higrotérmicas de inverno e verão

exigências de inverno
temperatura do ar externo de cálculo: $t_e = 7,5^{\circ}\text{C}$
amplitude típica da onda de temperatura do ar externo dos dias considerados frios: 10,0K
umidade relativa média do ar dos dias considerados frios: UR = 95,0%
temperatura do ar interno de cálculo: $t_i = 18,0^{\circ}\text{C}$
exigências de verão
temperatura máxima do ar externo de base: 33,5°C
temperatura mínima do ar externo de base: 23,0°C
umidade relativa do ar concomitante à temperatura do ar externo de base máxima: UR = 72,0%
temperatura do ar interno de cálculo: $t_i = 29,0^{\circ}\text{C}$

(Fonte: AROZTEGUI e BRIZOLARA, 1980, p. 3, GIVONI, 1992, GOULART, 1997, p. 193)

A temperatura do ar interno de cálculo, t_i , adotada, neste estudo, difere do valor adotado por TURIK (1988). O autor adota uma temperatura do ar interno de cálculo de $30,0^{\circ}\text{C}$ para a situação de verão. Adota-se o valor de $29,0^{\circ}\text{C}$ por este ser o limite superior da temperatura do ar interno para a zona de conforto estipulada por GIVONI (1992).

A radiação solar terá maior influência na situação de céu claro, ou seja, principalmente para situação de verão. Estes dados são apresentados de hora em hora e por orientação solar. AROZTEGUI (1980, p. 61) apresenta valores de radiação solar direta e difusa, por orientação solar, para Porto Alegre, por mês do ano. Esses valores são adotados neste trabalho e são apresentados no *Anexo 2*.

Comparando-se os valores de temperatura do ar externo, t_e , de AROZTEGUI e BRIZOLARA (1980), com os valores estipulados pela ABNT (2004a, p.50), conforme *tabela 2.10*, do *Capítulo 2*, existe discordância no que se refere à amplitude diária de temperatura do ar externo para inverno e a umidade relativa média do ar UR, como já havia sido comentado. No entanto, devido à concordância entre AROZTEGUI e BRIZOLARA (1980) e GOULART (1997, p. 195), assume-se, neste estudo, os valores apresentados pelos primeiros autores citados acima.

Em relação à velocidade e direção dos ventos, v , para fins de análise da ventilação natural, assume-se o valor médio para os meses considerados mais quentes, janeiro e fevereiro, conforme dados de SATTLER (1987, p. 3), INMET (2006) e FERRARO e HASENACK (2000, p. 19). A velocidade dos ventos v e sua direção predominante, para os meses de janeiro e fevereiro, é obtida de GOULART (1997, p. 197, 198), cujos dados são apresentados no *item 2.3, tabelas 2.11 e 2.12*. O valor médio de velocidade do vento é $3,0m/s$ e as direções predominantes são Leste e Sudeste.

2.5.2 Condições de conforto térmico para avaliação de desempenho higrotérmico

As condições de conforto térmico para fins de avaliação do desempenho térmico da edificação adotado neste estudo baseiam-se nos estudos efetuados por GIVONI (1992) que estipula os valores indicados a seguir:

- a) temperatura mínima do ar interno para a situação de inverno: $18,0\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- b) temperatura máxima do ar do ar interno para a situação de verão: $29,0\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- c) umidade relativa do ar no inverno e no verão: nunca maior que $80,0\%$.

A concordância ou não com tais limites dependeria de um estudo da aceitação da população alvo das condições propostas, tal como efetuado por BARBOSA (1997). Como tal estudo foge ao escopo deste trabalho, aceitam-se as condições propostas por GIVONI (1992) e ilustradas na *figura 2.3*.

Consideram-se como limites para o intervalo referente ao inverno a temperatura do ar interno, t_i , com limite inferior de $18,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ e com limite superior de $27,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para o verão, os limites inferior e superior são $20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $29,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ respectivamente. Considera-se que as pessoas estejam vestindo roupas adequadas para cada época do ano, com condições de baixa velocidade do ar, v , $0,15m/s$ no inverno e $0,25m/s$ no verão, bem como umidade relativa do ar, UR , máxima nunca superior a $80,0\%$.

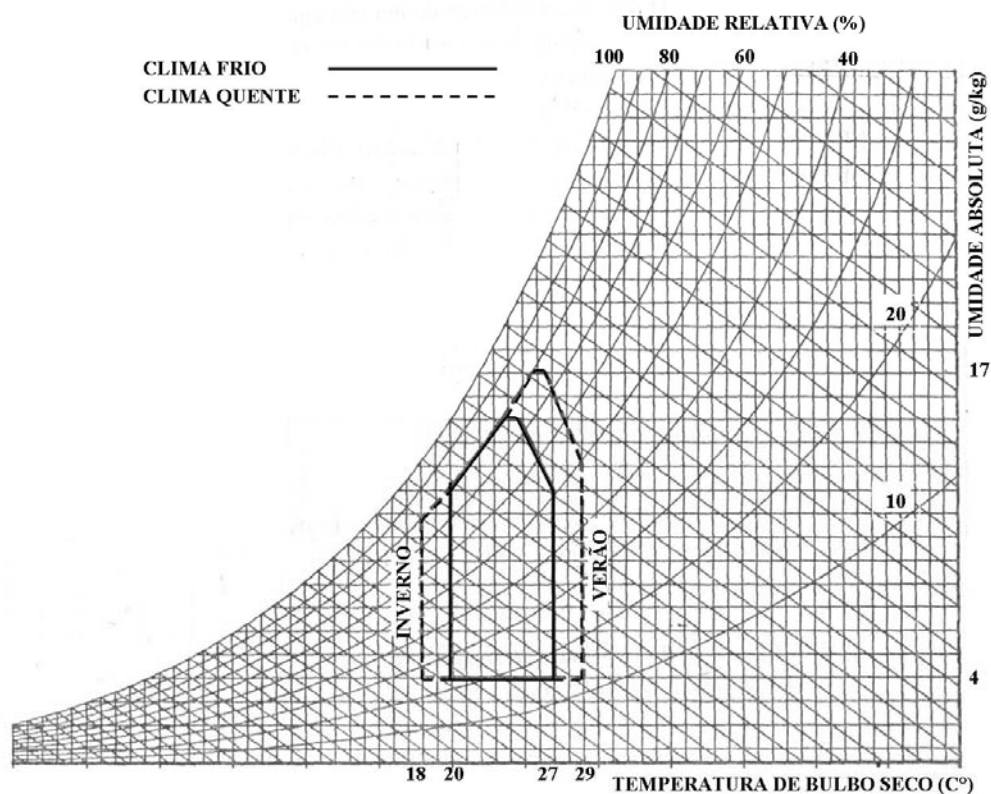


Figura 2.3. Zona de conforto proposta por Givoni para países de clima frio e clima quente. Adaptado de GIVONI, 1992

Segundo os valores acima, para as condições de inverno, a temperatura do ar interno mínima está acima do valor estipulado pela ABNT (2004a). Para as condições de verão, o desempenho equivale ao nível intermediário (*I*). Adota-se os limites sugeridos por GIVONI (1992) por entender-se que este é mais rigoroso no que tange às condições de inverno, período em que a população de baixo poder aquisitivo está sujeita a um número maior de doenças respiratórias, principalmente em idosos e crianças, além do indicado pela análise da temperatura BIN, no *item 2.3*, as horas de desconforto por frio apresentam temperaturas mais afastadas do limite inferior da zona de conforto.

Neste trabalho, a ocupação das habitações analisadas é considerada apenas para a análise de ventilação natural. Para a situação de inverno, a ocupação é favorável, pois aumenta os ganhos de calor da edificação. Já para a situação de verão, a ocupação é desfavorável, pelo mesmo motivo, porém tornando as condições menos favoráveis de conforto térmico. Para o inverno, a produção de vapores com a ocupação das habitações também é fator desfavorável. Além disso, o abrir e fechar de portas e janelas, tanto na situação de inverno quanto na de verão, alteram o comportamento térmico da edificação, pois facilitam a entrada de ar frio no

inverno e ar quente no verão. Essas ações são difíceis de serem previstas para as habitações e tais efeitos não são considerados neste estudo. Portanto, os modelos físicos adotados para a simulação do comportamento térmico da edificação não consideram, por motivos de simplificação, a ocupação da edificação.

2.5.3 Parâmetros térmicos, definições e procedimentos de cálculo

Os parâmetros térmicos a serem considerados na avaliação dos dois protótipos, e obtidos através de cálculos matemáticos, são organizados segundo dois grupos distintos (GIVONI, 1981, p.324). Um primeiro grupo refere-se às propriedades térmicas dos componentes da edificação (paredes, coberturas, aberturas, etc.), considerados de forma isolada. Tais propriedades são as seguintes: resistência térmica total, R_T , transmitância térmica, U , atraso térmico, φ , coeficiente de amortecimento, μ , absorvância, α , e fator de calor solar, FCS , por componente da edificação (fechamentos opacos e transparentes). Além destes parâmetros, um segundo grupo relaciona-se ao comportamento da edificação como um todo, levando em consideração a relação entre os seus diferentes fechamentos, suas áreas e o volume total encerrado pela envolvente da mesma. Pertencem a este grupo: coeficientes volumétricos globais de perdas e ganhos de calor, $GV_{inverno}$ e $GV_{verão}$, condensação superficial interna sobre os fechamentos, $t_{si} \times t_{orvalho}$, efeito de superfícies frias ou quentes sobre a homogeneidade do conforto expresso através da assimetria da radiação térmica, ΔT_{rp} , coeficiente de superfície pesada equivalente, $coef_{SPE}$, ou categoria de inércia, efusividade térmica do ambiente ef_{amb} , coeficiente da cobertura sul/sudeste, $coef_{coberturaS}$, e coeficiente de parede norte/nordeste, $coef_{paredeN}$.

A seguir, são apresentados os procedimentos adotados neste estudo para a definição e cálculo de cada um dos parâmetros acima citados. Os valores de referência dos parâmetros térmicos (critérios de avaliação) são definidos após a análise dos quatro projetos de habitação térrea unifamiliar de interesse social tomados como referência, com exceção daqueles obtidos diretamente da bibliografia estudada. O cálculo dos parâmetros térmicos resistência térmica total, R_T , transmitância térmica, U , atraso térmico, φ , absorvância, α , e fator de calor solar, FCS , seguem os procedimentos descritos pela ABNT (2005b) e, portanto, não são explicitados neste estudo. A resistência térmica total, R_T , relaciona a espessura do fechamento

e a condutividade térmica dos materiais que o compõe, sendo uma medida da resistência que um determinado fechamento oferece à passagem de calor através do mesmo. É o quociente da diferença de temperatura superficial verificada entre as superfícies de um elemento construtivo pela densidade do fluxo de calor Q , em regime estacionário. A transmitância térmica, U , é uma propriedade térmica inversa a resistência térmica total do fechamento. O fator de calor solar, FCS , é definido como o quociente da energia solar absorvida por um componente pela energia solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo.

2.5.3.1 Transmitância térmica de pisos (U)

O cálculo da transmitância térmica, U , dos pisos é feito através do método exposto por MARKUS e MORRIS (1980, p. 238). Para pisos suspensos ou apoiados diretamente sobre o solo, não é possível calcular a transmitância térmica U usando os mesmos procedimentos de cálculo dos demais fechamentos da edificação (BUILDING apud MARKUS e MORRIS, 1980, p. 280). Para pisos, a densidade de fluxo de calor q depende da geometria do piso (relação entre seu perímetro e sua área), pois o fenômeno que se verifica é a “fuga” de calor através das bordas do piso, tal como mostrado na *figura 2.4*.

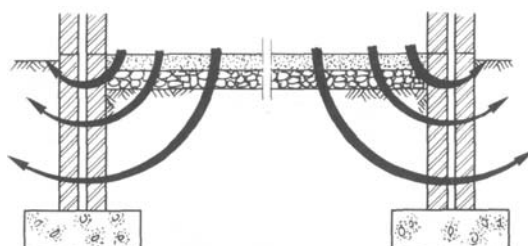


Figura 2.4. Fluxo de calor através de pisos diretamente apoiados no solo (Fonte: MARKUS e MORRIS, 1980, p. 282, fig. 5.9)

Quanto maior for o perímetro do piso em relação a sua área, maior será o fluxo de calor através do mesmo. A transmitância térmica, U , é obtida a partir da geometria do piso (quadrado ou retangular), do número de lados expostos ao meio externo e da área do mesmo, conforme *figura 2.5*.

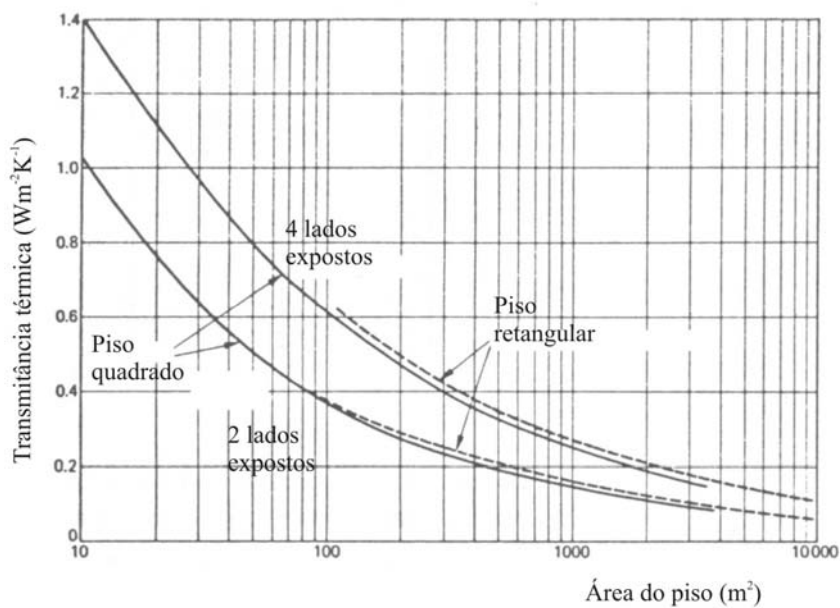


Figura 2.5. Transmitância térmica U para pisos diretamente apoiados no solo. (Fonte: MARKUS e MORRIS, 1980, p. 283, fig. 5.7)

2.5.3.2 Coeficiente de amortecimento (μ)

O coeficiente de amortecimento, μ , é a relação entre a amplitude máxima atingida pela temperatura superficial interna de um fechamento (que separa um meio interior de um meio exterior) e a amplitude máxima da temperatura do ar externo (RIVERO, 1985, p. 45; GIVONI, 1981, p.137).

Segundo GIVONI (1981, p. 138), o coeficiente de amortecimento μ da amplitude térmica é diretamente proporcional à espessura do fechamento, e , e à capacidade térmica volumétrica do fechamento, $\rho \times c$, e inversamente proporcional ao período em que se repete o fenômeno de variação da temperatura do ar externo, considerado cíclico, repetindo-se em $24h$, e à condutividade térmica, λ .

Neste trabalho, adota-se o método teórico desenvolvido por *Mackey e Wright*, descrito por GIVONI (1981, p. 138, p. 414), para o cálculo do coeficiente de amortecimento.

O coeficiente de amortecimento, μ , é dado por:

$$\mu = e^A \quad [\text{eq. 2.1}]$$

Onde:

μ é o coeficiente de amortecimento, grandeza adimensional.

A é uma variável relacionada à R_t e a capacidade térmica C_T do fechamento, dada por:

$$A = -0,1309 \times R_t \times \sqrt{B_1 + B_2} \quad [\text{eq. 2.2}]$$

Os coeficientes B_1 e B_2 são aqueles definidos pela ABNT (2005b).

O coeficiente de amortecimento, μ , é importante em regiões de clima com variações de temperatura do ar externo significativas entre o dia e a noite (acima de $10K$), pois permite reduzir a amplitude de onda de temperatura do ar interno. Quanto menor for esta grandeza, maior será o efeito de amortecimento da onda de temperatura.

2.5.3.3 Coeficiente volumétrico global de perda de calor (GV_{inverno})

O coeficiente volumétrico global de perda de calor, GV_{inverno} , é, por definição, a razão entre a taxa de fluxo total de calor, Q , que atravessa todos os fechamentos da edificação e o volume total delimitado pela sua envolvente, pela diferença de temperatura entre o ar interno e externo (GIVONI, 1981, p. 331). A ISO (1999, p. 3) propõe um coeficiente de perdas térmicas similar, acrescentando as perdas através das pontes térmicas existentes na envolvente da edificação, e expresso em W/K . Neste estudo, as pontes térmicas não são consideradas e as perdas são expressas em $\frac{W}{m^3 K}$, ou seja, inclui-se a relação com o volume interno total da edificação, para facilitar a compreensão e comparação da grandeza. Coeficientes globais de transferência de calor também fazem parte de normas de países como Espanha e Argentina (FILLIPPÍN, 2005), como já comentado no *item 2.2*.

O coeficiente global de perda de calor, GV_{inverno} , é dado por:

$$GV_{\text{inverno}} = \frac{Q_T}{V \times (t_e - t_i)} \quad [\text{eq. 2.3}]$$

Onde:

$GV_{inverno}$ é o coeficiente volumétrico global de perda de calor, em $\frac{W}{m^3 K}$,

Q_T é o fluxo total de calor que atravessa todos os fechamentos do edifício, em W ,

V é o volume da edificação, em m^3 ,

$t_e - t_i$ é a diferença de temperatura do ar interno e do ar externo, considerada constante, em $^{\circ}C$.

Pode-se decompor $GV_{inverno}$ em cada uma das contribuições diferentes que promovem a transferência de calor do interior para o exterior da edificação, na situação de inverno: renovação do ar interior através de infiltrações (ventilação), perdas térmicas através de fechamentos opacos (paredes, coberturas, pisos, portas, janelas com proteção opaca, etc.) e perdas térmicas através de fechamentos transparentes (superfícies envidraçadas, transparentes ou translúcidas). Desta forma, tem-se:

$$GV_{inverno} = GV_{infiltração} + GV_{paredes} + GV_{cobertura} + GV_{pisos} + GV_{portas} + GV_{janela} + \dots \quad [\text{eq. 2.4}]$$

Cada um dos coeficientes volumétricos parciais de perda de calor que compõe as parcelas da equação 2.4, com exceção de $GV_{infiltração}$, podem ser obtidos considerando que a taxa de fluxo de calor, Q , é dada por:

$$Q = U \times (t_e - t_i) \times A \quad [\text{eq. 2.5}]$$

Onde:

Q é o fluxo de calor que atravessa a superfície de área A , em W ,

U é a transmitância térmica do fechamento, em $\frac{W}{m^2 K}$,

$t_e - t_i$ é a diferença de temperatura do ar interno e do ar externo, considerada constante, em $^{\circ}C$,

A é a área de cada uma das superfícies, em m^2 .

Pode-se escrever:

$$GV_i = \frac{U_i \times (t_e - t_i) \times A_i}{V \times (t_e - t_i)} = \frac{U_i \times A_i}{V} \quad [\text{eq. 2.6}]$$

Onde o índice i indica a contribuição do fechamento segundo suas propriedades térmicas para o fluxo total de calor, Q .

Para o coeficiente volumétrico de perda de calor, devido à renovação do ar interior, por infiltração de ar através das frestas não controláveis em esquadrias, $GV_{\text{Infiltração}}$, tem-se:

$$GV_{\text{Infiltração}} = 1.200 \times N \quad [\text{eq. 2.7}]$$

Onde:

$GV_{\text{Infiltração}}$ é o coeficiente volumétrico de perda de calor devido à infiltração, em $\frac{W}{m^3 K}$,

1.200 é uma constante que relaciona a massa específica do ar ($1,2 \frac{kg}{m^3}$) e o calor específico à pressão constante do ar ($1.000 \frac{J}{kg K}$),

N é o número de renovações de ar por segundo. Quando o valor da *Infiltração* para as esquadrias é conhecido, N é definido pela relação:

$$N = \frac{\text{Infiltração}}{V} \quad [\text{eq. 2.8}]$$

Onde V é o volume da edificação, em m^3 , e a *Infiltração* é dada em $\frac{m^3}{s}$.

Segundo a ISO (1999, p. 5), quando o valor da *Infiltração* para as esquadrias não é conhecido, o número de renovações de ar por hora a ser considerada para esquadrias com juntas que permitem parcialmente a infiltração de ar, é de 5 renovações/h. Considerando este valor, tem-se:

$$N = 5 \times \frac{1}{3.600} = 0,00139 \frac{\text{renovações}}{s} \quad [\text{eq. 2.9}]$$

Este valor é único, independente do volume da edificação e da área de frestas responsável pela infiltração. A entrada não controlada de ar pode ocorrer não apenas pelas frestas de janelas e portas, mas também pela ocasional abertura de uma porta de entrada e saída da edificação, entre juntas de componentes da edificação, entre outros. Daí o valor elevado considerado pela ISO (1999). A ASHRAE (2005, 27.21) propõe que a *Infiltração* seja encontrada a partir da área de frestas (aberturas, juntas de componentes, etc.). Neste estudo, o cálculo da *Infiltração* é feito considerando um horário em que as aberturas estarão fechadas (noite e madrugada) e desconsiderando frestas que não sejam aquelas decorrentes de aberturas, adotando o método proposto pela ASHRAE (2005), por este permitir considerar as condições do sítio de implantação das habitações, seu volume e a área das esquadrias. A *Infiltração* é calculada a partir da expressão:

$$Infiltração = \frac{A_{frestas}}{1.000} \times \sqrt{0,000145 \times (t_i - t_e) + 0,001994} \quad [eq. 2.10]$$

Onde:

Infiltração é a taxa de infiltração de ar no ambiente, em $\frac{m^3}{s}$,

$A_{frestas}$ é a área das frestas, em cm^2 ,

t_i é a temperatura do ar interno, em $^{\circ}C$,

t_e é a temperatura do ar externo, em $^{\circ}C$.

Supõe-se que a velocidade do ar seja igual a $2,5m/s$, velocidade média do ar para um dia típico de inverno de *nível 10%*, com temperatura do ar mínima de $7,5^{\circ}C$ (GOULART, 1997, p. 193), valor utilizado para cálculo, conforme comentado no *item 2.5.1*. É considerado o critério de pior exposição da edificação aos ventos recomendado por ASHRAE (2005, p. 27.21).

A área das frestas, $A_{frestas}$, é obtida a partir da área total de esquadrias da habitação, (portas e janelas) $A_{esquadrias}$, através da expressão⁷:

⁷ O fator 10,4 é a taxa de frestas, em cm^2 , por m^2 de área de esquadria, para a situação mais desfavorável, conforme a ASHRAE (2005, p. 29.6).

$$A_{frestas} = 10,4 \times A_{esquadrias} \quad [\text{eq. 2.11}]$$

Onde:

$A_{frestas}$ é a área das frestas, em cm^2 ,

$A_{esquadrias}$ é a área total de esquadrias (portas e janelas), em m^2 ,

Para a situação de inverno, não é considerado o efeito da temperatura ar-sol, T_{ar-sol} . Segundo AROZTEGUI e BRIZOLARA (1980, p. 17), RIVERO (1985, p. 85) e GIVONI (1981, p. 126), regiões com um período quente e outro frio (verão e inverno), a temperatura ar-sol, T_{ar-sol} , pode ser considerada só no período quente (verão), uma vez que no inverno sua contribuição é positiva e não estará presente na situação crítica, quando ocorrem temperaturas do ar mais baixas (à noite ou com céu encoberto).

Também não é considerado o coeficiente de amortecimento, μ , sendo o fenômeno de transferência de calor através dos fechamentos tratado como regime estacionário. Segundo AROZTEGUI e BRIZOLARA (1980, p. 17), o coeficiente de amortecimento, μ , pode somente ser desconsiderado em situações onde a temperatura do ar interno, t_i , é mantida constante (através de aquecimento artificial). No entanto, para fins de simplificação da análise, não se considera o regime variável. O efeito de inércia térmica da edificação é levado em conta através do coeficiente de superfície pesada equivalente, $coef_{SPE}$, apresentado no item 2.5.3.7 deste capítulo.

O coeficiente volumétrico global de perda de calor, $GV_{inverno}$, é importante pois permite a análise da envolvente da edificação como um todo, considerando as áreas relativas de cada fechamento que compõe a envolvente (diferentes tipos de paredes, tamanhos de aberturas, cobertura, etc.). Da análise de cada uma das parcelas que compõe o $GV_{inverno}$, faz-se os necessários ajustes no projeto e escolha de materiais. O coeficiente volumétrico global de perda de calor, $GV_{inverno}$, é positivo, embora ele esteja associado às perdas de calor da edificação para o meio (temperatura do ar interno t_i maior do que a temperatura do ar externo, t_e). Portanto, na análise dos projetos efetuada neste estudo, embora o coeficiente volumétrico global de perda de calor, $GV_{inverno}$, seja dado por um valor positivo, ele indica que a edificação perde calor para o meio numa determinada taxa.

2.5.3.4 Condensação superficial na alvenaria e no forro ($t_{si} \times t_{orvalho}$)

Para a análise da possibilidade de haver condensação sobre as superfícies internas da edificação, paredes e forro, situação de inverno, à noite, em regime permanente, para condições de temperatura do ar interno, temperatura do ar externo e umidade relativa do ar pré-definidas, considera-se a temperatura superficial interna, t_{si} , correspondente a estes elementos, dada por (MARKUS e MORRIS, 1980, p. 288):

$$t_{si} = t_i + R_{si} \times U \times (t_e - t_i) \quad [\text{eq. 2.12}]$$

Onde:

t_{si} é a temperatura superficial interna do fechamento, em °C,

t_i é a temperatura do ar interno, em °C,

R_{si} é a resistência superficial interna, cujo valor depende do sentido do fluxo de calor e é especificado pela ABNT (2005b), em $\frac{m^2 K}{W}$,

U é a transmitância térmica do fechamento, em $\frac{W}{m^2 K}$,

$t_e - t_i$ é a diferença de temperatura do ar externo e do ar interno, em °C.

Uma vez conhecidos os valores de temperatura do ar externo, t_e , temperatura do ar interno, t_i , e a temperatura de ponto de orvalho, $t_{orvalho}$, pode-se proceder ao cálculo da temperatura superficial interna, t_{si} , e compará-la com a temperatura de orvalho, $t_{orvalho}$. Para fins de análise, propõe-se a adoção do dia típico de projeto com nível 10,0% para o inverno, assumindo o valor mínimo de temperatura do ar externo, $t_{emín}$, para este dia, com o respectivo valor de umidade relativa, UR . O dia típico de projeto é obtido de GOULART (1997, p.193). Para a temperatura do ar interno, t_i , assume-se o valor do limite inferior da zona de conforto proposta por GIVONI (1992). Os valores assumidos para temperatura do ar interno t_i , temperatura mínima do ar externo, $t_{emín}$, e umidade relativa do ar externo, UR , são dados a seguir:

- a) temperatura do ar interno $t_i = 18,0\text{ }^\circ\text{C}$,
- b) temperatura do ar externo mínima $t_{emín} = 7,5\text{ }^\circ\text{C}$,
- c) umidade relativa do ar externo $UR = 95,0\%$.

Para o cálculo das condições higrotérmicas do ar interno considera-se a variação da pressão de vapor em decorrência da ocupação interna, Δp , para *classe 3* (habitação com baixa ocupação) conforme procedimento descrito pela ISO (2001, p. 18). A *classe 3* é adotada a partir da suposição de que a temperatura mínima do ar externo é verificada em um horário em que as pessoas normalmente estão dormindo (entre cinco e seis horas da manhã), provavelmente não haverá demasiada geração de vapor (devido ao cozimento ou banho) dentro da edificação. A partir desta consideração, tem-se:

$$\Delta p = 540\text{ Pa} \quad [\text{eq. 2.13}]$$

A umidade relativa UR do ar interno é dada a partir da expressão (ISO, 2001, p. 3):

$$UR = \frac{p_i}{p_{sat\ i}} \quad [\text{eq. 2.14}]$$

Onde:

UR é a umidade relativa do ar interno, grandeza adimensional,

p_i é a pressão de vapor para o ar interno, em Pa ,

$p_{sat\ i}$ é a pressão de saturação de vapor o ar interno, em Pa .

A pressão de vapor do ar interno p_i é obtida através da expressão:

$$p_i = p_e + \Delta p \quad [\text{eq. 2.15}]$$

Onde:

p_i é a pressão de vapor para o ar interno, em Pa ,

p_e é a pressão de vapor para o ar externo, em Pa ,

Δp é a variação da pressão de vapor, igual a $540 Pa$ para as condições de ocupação assumidas.

A pressão do ar externo, p_e , é obtida a partir da pressão de saturação do ar externo, $p_{sat e}$. Por sua vez, a pressão de saturação do ar, p_{sat} , externo ou interno, é dada pela expressão (COSTA, 1982, p. 44):

$$p_{sat} = 10^{11,27 - \frac{2.316}{T}} \quad [\text{eq. 2.16}]$$

Onde:

p_{sat} é a pressão de saturação do ar, interno ou externo, em Pa ,

T é a temperatura absoluta do ar, em K^8 .

A pressão do ar externo p_e é dada por:

$$p_e = UR_e \times p_{sat e} \quad [\text{eq. 2.17}]$$

Onde:

p_e é a pressão de vapor para o ar externo, em Pa ,

UR_e é a umidade relativa do ar externo, grandeza adimensional,

$p_{sat e}$ é a pressão de saturação de vapor o ar externo, conforme *equação 2.14*, em Pa .

Para as condições iniciais do ar externo e de ocupação interna, obtém-se uma umidade relativa UR do ar interno de $74,0\%$ e uma temperatura de ponto de orvalho, $t_{orvalho}$, igual a $13,5\text{ }^\circ\text{C}^9$.

A condição a ser satisfeita é de que a temperatura superficial interna dos fechamentos, t_{si} , seja maior do que a temperatura de ponto de orvalho, $t_{orvalho}$.

Segundo CROISET (1976, p. 128), deve-se distinguir as paredes sobre as quais é admissível que se verifique condensação daquelas sobre as quais não se admite a existência deste fenômeno. Sobre paredes de cozinhas e banheiros, onde são geradas grandes quantidades de

⁸ A temperatura do ar em $^\circ\text{C}$ pode ser convertida em K através da expressão $T [K] = t (^\circ\text{C}) + 273$.

⁹ Obtida através de uma carta psicrométrica (ASHRAE, 2005, p. 6.11).

vapor e, portanto, são revestidas de materiais pouco permeáveis, pode-se admitir que haja condensação superficial. Nas demais, além do desconforto gerado pela própria umidade verificada eventualmente, há a possibilidade de proliferação de bactérias e fungos, prejudiciais à saúde dos usuários da edificação, bem como causadoras da degradação dos materiais que compõem os fechamentos, diminuindo a vida útil dos mesmos, tornando a condensação indesejável em qualquer situação.

2.5.3.5 Assimetria da radiação térmica (ΔT_{rp})

A temperatura radiante média, T_{rm} , é a temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual a troca de calor entre corpo humano e as superfícies que conformam este ambiente é igual à troca de calor por radiação em um ambiente real não uniforme (ABNT, 2005a). O termo uniforme refere-se às propriedades térmicas da envolvente deste ambiente, ou seja, a envolvente apresenta características tais que as variáveis térmicas internas são iguais em toda a sua extensão (t_{si} , t_i , etc.). No entanto, em um ambiente real, a superfície da envolvente não apresenta as mesmas propriedades em toda a sua extensão, resultando, por exemplo, em temperaturas superficiais internas, t_{si} , diferentes para pontos diferentes. Estas temperaturas afetarão as trocas térmicas por radiação entre o corpo humano e a envolvente. Pode acontecer que tais temperaturas sejam bastante diferentes entre si, causando desconforto para o usuário.

Se o interesse é sobre estas diferenças de temperaturas superficiais internas, t_{si} , responsáveis pelas trocas térmicas por radiação, o conceito de temperatura radiante plana, T_{rp} (ABNT, 2005a, p.7) é mais útil do que o conceito de temperatura radiante média, T_{rm} . O efeito de superfícies frias sobre a homogeneidade do conforto pode ser analisado a partir do conceito de temperatura radiante plana, T_{rp} . A temperatura radiante plana, T_{rp} , segundo a ABNT (2005a, p.7), é a temperatura superficial interna uniforme de um ambiente no qual o fluxo de radiação incidente em um lado de um plano infinitesimal é o mesmo que no ambiente real não uniforme e é um indicativo adequado da diferença de temperatura superficial interna t_{si} em sentidos opostos. A temperatura radiante plana, T_{rp} , é uma quantidade, expressa em °C, que descreve a radiação recebida sobre este plano infinitesimal provinda de uma dada direção.

A *International Organization for Standardization* (ISO, 1996), através da norma ISO 7726, descreve o método de cálculo da temperatura radiante plana, T_{rp} , sendo esta referência

adotada neste estudo. O cálculo é feito para duas possibilidades: plano infinitesimal perpendicular à superfície ou paralelo à mesma. A temperatura radiante plana é dada por:

$$T_{rp} = \sum_i t_{si} \times f_i \quad [\text{eq. 2.18}]$$

Onde:

T_{rp} é a temperatura radiante plana, em °C,

t_{si} é a temperatura superficial interna da superfície i , em °C,

f_i é o fator de forma correspondente à superfície i , grandeza adimensional.

Os fatores de forma, f_i , são obtidos para cada superfície i que é vista do ponto e da direção em que se encontra o plano infinitesimal imaginário. Os fatores de forma, f_i , são calculados através das *equações 2.19 e 2.22*, segundo sua posição relativa ao plano infinitesimal, perpendicular ou paralelo ao mesmo (ISO, 1996, p. 45).

A temperatura superficial, t_{si} , é obtida, para a situação de inverno, a partir da *equação 2.12*, apresentada no *item 2.5.3.4*, deste capítulo. Para a situação de verão, usa-se a máxima temperatura superficial, $t_{simáx}$, atingida pelo fechamento, conforme *equação 2.30*, para fechamentos transparentes, e *equação 2.32*, para fechamentos opacos, apresentadas no *item 2.3.6*.

2.5.3.5.1 Superfície perpendicular ao plano infinitesimal

O fator de forma, f_i , para uma superfície perpendicular ao plano infinitesimal é dado por (ISO, 1996, p. 45):

$$f_i = \frac{1}{2\pi} \times \left(\text{tg}^{-1} \frac{1}{Y} - \frac{Y}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \times \text{tg}^{-1} \frac{1}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \right) \quad [\text{eq. 2.19}]$$

Onde X e Y são dados por:

$$X = \frac{a}{b} \quad \text{e} \quad Y = \frac{c}{b} \quad [\text{eqs. 2.20 e 2.21}]$$

Os valores de a e b representam a posição relativa do plano infinitesimal e das superfícies circundantes, conforme indicado na *figura 2.6*.

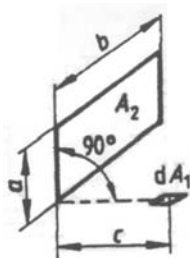


Figura 2.6. Posição relativa perpendicular entre o plano infinitesimal e a superfície sendo submetida à análise de temperatura radiante plana T_{rp} , conforme ISO7726 (Fonte: ISO, 1996, p. 45)

2.5.3.5.2 Superfície paralela ao plano infinitesimal

O fator de forma, f_i , para uma superfície paralela ao plano infinitesimal é dado por (ISO, 1996, p. 45):

$$f_i = \frac{1}{2\pi} \times \left(\frac{X}{\sqrt{1+X^2}} \times \text{tg}^{-1} \frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} + \frac{Y}{\sqrt{1+Y^2}} \times \text{tg}^{-1} \frac{X}{\sqrt{1+Y^2}} \right) \quad [\text{eq. 2.22}]$$

Onde X e Y são dados por:

$$X = \frac{a}{c} \quad \text{e} \quad Y = \frac{b}{c} \quad [\text{eqs. 2.23 e 2.24}]$$

Os valores de a e b representam a posição relativa do plano infinitesimal e das superfícies circundantes, conforme indicado na *figura 2.7*.

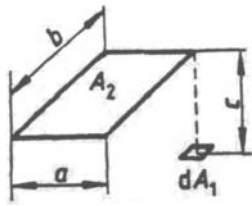


Figura 2.7. Posição relativa paralela entre o plano infinitesimal e a superfície sendo submetida à análise de temperatura radiante plana T_{rp} , conforme ISO7726 (Fonte: ISO, 1996, p. 45).

Para fins de cálculo, neste trabalho, adota-se um ponto a meia distância das paredes laterais, a distância de $1,00m$ da parede sendo analisada e a distância de $1,00m$ do piso, seguindo os valores assumidos por FANGER (1970, p. 188) para uma pessoa em pé.

A partir da obtenção dos fatores de forma, f_i , de cada superfície, pode-se encontrar a temperatura radiante plana, T_{rp} , para cada um dos lados do elemento plano infinitesimal. Uma vez conhecida a temperatura radiante plana, T_{rp} , encontra-se a assimetria da radiação térmica, ΔT_{rp} , entre os dois lados opostos do corpo, ou seja, a diferença entre as temperaturas riantes planas medidas em lados opostos do pequeno elemento plano (ABNT, 2005^a, p. 7). Esta diferença é dada por:

$$\Delta T_{rp} = |T_{rp1} - T_{rp2}| \quad [\text{eq. 2.25}]$$

Onde:

ΔT_{rp} é a assimetria da radiação térmica, em $^{\circ}\text{C}$,

T_{rp1} e T_{rp2} são as temperaturas riantes planas em cada uma das faces do elemento plano, em $^{\circ}\text{C}$.

Para fins de análise da assimetria da radiação térmica ΔT_{rp} , indica-se tomar, para condições de inverno, os ambientes que possuam menores temperaturas superficiais internas, t_{si} , para seus fechamentos, ambientes com grandes superfícies transparentes (esquadrias com áreas significativas de envidraçamento) e ambientes que possuam esquadrias sem proteção opaca, tal como venezianas ou postigos, que são de permanência noturna e que podem apresentar temperaturas superficiais internas t_{si} muito baixas, principalmente à noite no inverno. Para condições de verão, a seleção dos ambientes deve satisfazer a condição de possuírem paredes

externas voltadas a Oeste, Noroeste ou Sudoeste, pois estes fechamentos apresentam maiores temperaturas superficiais, t_{si} , na situação de calor, e que sejam ambientes de permanência prolongada durante o dia. Além da análise de ambientes que satisfaçam as condições acima, a análise do efeito do forro (cobertura) também deve ser efetuada. Para os fechamentos verticais, adota-se um ponto situado sobre um plano a $1,00m$ de distância da parede sendo analisada, a meia distância das paredes laterais e a $1,00m$ de altura do piso. Para a cobertura, considera-se um ponto no centro geométrico do cômodo, a $1,00m$ do piso. Segundo a ASHRAE (2005, p.8.13), as pessoas são mais sensíveis à assimetria de radiação térmica, ΔT_{rp} , causada por uma superfície horizontal (cobertura e forro) quente do que por superfícies verticais quentes. Ainda, segundo a ASHRAE, as pessoas são mais sensíveis a superfícies verticais frias do que a quentes.

O valor da assimetria da radiação térmica, ΔT_{rp} , segundo recomendações da ASHRAE (2005, p.8.13), deve ser no máximo igual a $9^{\circ}C$ para forros ou coberturas quentes, considerando $20,0\%$ de pessoas insatisfeitas. Este valor é mais rigoroso do que aqueles correspondentes às paredes, cujo valor máximo é de aproximadamente $14^{\circ}C$, também com $20,0\%$ de insatisfeitos. Neste estudo, adota-se o critério de $9^{\circ}C$ para análise da assimetria da radiação térmica, ΔT_{rp} , para a cobertura quente e $14^{\circ}C$, para as superfícies verticais quentes ou frias, embora o critério para superfícies verticais quentes seja menos rigoroso do que o critério para superfícies verticais frias. Logo:

$$\Delta T_{rp} \leq \begin{cases} 9^{\circ}C & \text{para cobertura} \\ 14^{\circ}C & \text{para superfícies verticais} \end{cases} \quad [\text{eq. 2.26}]$$

Onde:

ΔT_{rp} é a assimetria da radiação térmica, em $^{\circ}C$.

O mesmo critério é adotado para superfícies verticais quentes ou frias, embora a ASHRAE diferencie o critério para uma e outra situação. Adota-se, neste estudo, o valor mais rigoroso (situação de frio) porque, em uma situação de calor, quando o ar interno está à temperatura do limite superior de conforto ($29,0^{\circ}C$), numa análise simplificada, a temperatura de uma superfície vertical homogênea sendo avaliada poderia atingir $43,0^{\circ}C$, o que seria uma temperatura considerada alta. Além disso, os valores preconizados pela ASHRAE referem-se

a ambientes climatizados artificialmente, o que pode influenciar a percepção dos usuários em relação à assimetria de radiação térmica, tornando-os mais tolerantes.

2.5.3.6 Coeficiente volumétrico global de ganho de calor ($GV_{\text{verão}}$)

O coeficiente volumétrico global de ganho de calor, $GV_{\text{verão}}$, é definido de forma similar ao GV_{inverno} (item 2.5.3.3, deste capítulo), ou seja, é a razão entre a taxa de fluxo total de calor, Q , que atravessa todos os fechamentos do edifício e o volume total delimitado pela envolvente da edificação, pela diferença de temperatura do ar interno e externo (GIVONI, 1981, p. 331).

O coeficiente global de ganho de calor pode ser representado por:

$$GV_{\text{verão}} = \frac{Q_T}{V \times (t_e - t_i)} \quad [\text{eq. 2.27}]$$

Onde:

$GV_{\text{verão}}$ é o coeficiente volumétrico global de ganho de calor, em $\frac{W}{m^3 K}$,

Q_T é o fluxo total de calor que atravessa todos os fechamentos do edifício, em W ,

V é o volume da edificação, em m^3 ,

t_e é a temperatura do ar externo, considerada igual a $33,5 \text{ }^\circ\text{C}$,

t_i é a temperatura do ar interno, considerada igual a $29,0 \text{ }^\circ\text{C}$.

O valor do fluxo máximo de calor, $Q_{\text{máx}}$, é encontrado a partir do horário correspondente à maior temperatura ar-sol, $T_{\text{ar-sol}}$, de acordo com a orientação solar, para cada componente da envolvente da edificação. Observa-se que, para um determinado horário, o fluxo de calor, Q , não é máximo em todos os componentes da envolvente. No entanto, para fins de avaliação, embora não represente a situação real, assume-se que os fluxos de calor, Q , para cada componente deverão ser tomados em seu valor máximo. Apresenta-se o método adotado para o cálculo segundo cada componente básico da edificação: fechamentos transparentes (janelas) e fechamentos opacos (portas, paredes, cobertura e piso).

2.5.3.6.1 Fechamentos transparentes

Considera-se como fechamentos transparentes todas as superfícies envidraçadas que não possuam proteção solar (interna ou externa).

A densidade máxima de fluxo de calor $q_{máx}$ é calculada através da expressão (MARKUS e MORRIS, 1980, p. 327):

$$q_{máx} = FCS \times I_g + U \times (t_e - \bar{t}_i) \quad [\text{eq. 2.28}]$$

Onde:

$q_{máx}$ é a densidade máxima de fluxo de calor, em $\frac{W}{m^2}$,

FCS é o fator de calor solar da abertura, sendo uma grandeza adimensional,

I_g é a intensidade de radiação solar global incidente sobre a abertura, em $\frac{W}{m^2}$,

U é a transmitância térmica da abertura em $\frac{W}{m^2 K}$,

t_e é a temperatura do ar externo de cálculo, em $^{\circ}C$,

\bar{t}_i é a temperatura do ar interno média de cálculo, em $^{\circ}C$.

O valor do fluxo máximo de calor $Q_{máx}$ é dado por:

$$Q_{máx} = q_{máx} \times A \quad [\text{eq. 2.29}]$$

Onde:

$Q_{máx}$ é o fluxo máximo de calor que atravessa a superfície de área A , em W ,

$q_{máx}$ é a densidade de fluxo de calor encontrada através da equação 2.28, em $\frac{W}{m^2}$,

A é a área da superfície atravessada pela densidade de fluxo de calor q , em m^2 .

Os valores de intensidade de radiação solar global, I , considerados neste estudo estão no *Anexo 2*, segundo as diferentes orientações solares e meses do ano, e são obtidos de AROZTEGUI (1980, p. 61).

A temperatura máxima superficial interna, $t_{simáx}$, dos fechamentos transparentes (vidros comuns) pode ser obtida da expressão (RIVERO, 1985, p. 96):

$$t_{simáx} = t_e + 7 \quad [\text{eq. 2.30}]$$

Onde:

$t_{simáx}$ é a temperatura máxima superficial interna atingida pelo fechamento transparente, em °C,

t_e é a temperatura do ar externo de base, em °C.

2.5.3.6.2 *Fechamentos opacos*

Para o cálculo do fluxo máximo de calor, $Q_{máx}$, através dos fechamentos opacos, com exceção do piso, é necessário o conhecimento da temperatura ar-sol média, \bar{T}_{ar-sol} , e máxima, $T_{ar-solmáx}$, segundo a orientação solar do componente sendo calculado. Estes valores são apresentados no *Anexo 2* para as condições de Porto Alegre e para diferentes horários do dia e orientações solares. Também é necessário o conhecimento da temperatura média superficial interna, \bar{t}_{si} , do componente, que é obtida a partir da temperatura ar-sol média, \bar{T}_{ar-sol} , de acordo com a expressão (RIVERO, 1985, p. 217):

$$\bar{t}_{si} = \bar{t}_i + R_{si} \times U \times (\bar{T}_{ar-sol} - \bar{t}_i) \quad [\text{eq. 2.31}]$$

Onde:

\bar{t}_{si} é a temperatura média superficial interna do componente, em °C,

\bar{t}_i é a temperatura média do ar interno de cálculo, em °C,

R_{si} é a resistência superficial interna, em $\frac{m^2 K}{W}$,

U é a transmitância térmica do componente, em $\frac{W}{m^2 K}$,

\bar{T}_{ar-sol} é a temperatura ar-sol média para a orientação solar do componente, em $^{\circ}C$.

O valor de temperatura média do ar interno, \bar{t}_i , assumida nos cálculos do presente estudo é igual a temperatura do ar do limite superior da zona de conforto de GIVONI (1992), ou seja, igual a $29,0^{\circ}C$, uma vez que a temperatura do ar interno, t_i , neste estudo, é assumida constante na análise dos fenômenos de transmissão de calor através dos fechamentos (RIVERO, 1985, p. 216). Uma vez conhecida a temperatura média superficial interna, \bar{t}_{si} , do componente é possível encontrar o valor da temperatura máxima superficial interna, $t_{simáx}$, atingida pelo componente através da expressão:

$$t_{simáx} = \bar{t}_{si} + \mu \times (T_{ar-solmáx} - \bar{T}_{ar-sol}) \quad [\text{eq. 2.32}]$$

Onde:

$t_{simáx}$ é a temperatura máxima superficial interna, em $^{\circ}C$,

\bar{t}_{si} é a temperatura média superficial interna do componente, em $^{\circ}C$,

μ é o coeficiente de amortecimento do componente, grandeza adimensional,

$T_{ar-solmáx}$ é a temperatura ar-sol máxima para a orientação solar do componente, em $^{\circ}C$,

\bar{T}_{ar-sol} é a temperatura ar-sol média para a orientação solar do componente, em $^{\circ}C$.

A densidade máxima de fluxo de calor, $q_{máx}$, é dada em função da temperatura máxima superficial interna, $t_{simáx}$, através da expressão:

$$q_{máx} = \frac{1}{R_{si}} \times (t_{simáx} - \bar{t}_i) \quad [\text{eq. 2.33}]$$

Onde:

$q_{m\acute{a}x}$ é a densidade máxima de fluxo de calor, em $\frac{W}{m^2}$,

R_{si} é a resistência superficial interna, em $\frac{m^2 K}{W}$,

$t_{sim\acute{a}x}$ é a temperatura máxima superficial interna, em °C,

\bar{t}_i é a temperatura média do ar interno de cálculo, em °C.

O fluxo máximo de calor $Q_{m\acute{a}x}$ é calculado através da expressão:

$$Q_{m\acute{a}x} = q_{m\acute{a}x} \times A \quad [\text{eq. 2.34}]$$

Onde:

$Q_{m\acute{a}x}$ é o fluxo máximo de calor que atravessa a superfície de área A , em W ,

$q_{m\acute{a}x}$ é a densidade máxima de fluxo de calor encontrada através da *equação 2.33*, em $\frac{W}{m^2}$,

A é a área da superfície atravessada pela densidade de fluxo de calor q , em m^2 .

Tal como o coeficiente volumétrico global de perda de calor, $GV_{inverno}$, o coeficiente volumétrico global de ganho de calor, $GV_{ver\tilde{a}o}$, é importante na análise da envolvente da edificação como um todo, considerando-se as áreas relativas de cada fechamento que compõe a envolvente (diferentes tipos de paredes, tamanhos de aberturas, cobertura, etc.). Da análise de cada uma das parcelas que compõe o $GV_{inverno}$ e $GV_{ver\tilde{a}o}$, podem ser feitos ajustes no projeto e encaminhar a escolha adequada de materiais, componentes e subsistemas da envolvente da edificação.

Uma situação diferenciada apresenta-se para as coberturas ventiladas. O principal fenômeno de transferência de calor através da cobertura com câmara-de-ar (ventilada ou não) ocorre através da radiação, concomitante aos processos de ventilação e convecção (LAMBERTS, 1988; WINIARSKI e O'NEAL, 1996; PARKER, 2005). Existem vários modelos físicos para simular os fenômenos de fluxo de calor através de coberturas ventiladas. Estes modelos são complexos e necessitam de auxílio de programas computacionais. Embora não haja concordância nos modelos físicos adotados pelos autores pesquisados, há concordância de que

a principal forma de diminuir o fluxo de calor através de coberturas é por meio do uso de barreiras radiantes, ou seja, que as superfícies que delimitam a câmara-de-ar, ventilada ou não, sejam de baixa emissividade, e que a ventilação da câmara-de-ar tem pequena contribuição nesta redução. A ventilação da câmara-de-ar da cobertura tem maiores efeitos para a situação de inverno, onde poderá eliminar o efeito de resistência térmica das telhas, caso seja muito ventilada. Portanto, neste trabalho, considera-se a ventilação da cobertura, para a situação de verão, como desejável, analisando-a apenas em termos qualitativos.

Para o cálculo da densidade máxima de fluxo de calor, $q_{máx}$, através da cobertura adota-se o procedimento indicado pela ABNT (2005b), ou seja, que a resistência térmica da câmara-de-ar ventilada, $R_{camaradear}$, seja igual a da câmara de ar não-ventilada. Recomenda-se que a câmara-de-ar seja pouco ventilada no inverno, conforme critério recomendado pela ABNT (2005b). A verificação das condições da ventilação da câmara-de-ar é feita a partir da análise das aberturas, intencionais ou não, para ventilação, as quais podem ser, por exemplo, os interstícios entre as telhas.

Para o cálculo do fluxo máximo de calor, $Q_{máx}$, através da cobertura, considera-se a inclinação da mesma, que irá determinar a radiação solar global, $I_{g\beta}$ (difusa + direta + refletida), que pode ser obtida a partir da radiação solar global, I_g (difusa + direta), para uma superfície horizontal. Uma vez conhecido, $I_{g\beta}$, determina-se a temperatura ar-sol média, \bar{T}_{ar-sol} e $T_{ar-solmáx}$. Os procedimentos matemáticos para encontrar as variáveis acima são apresentados no *Anexo 2*.

Além da cobertura ventilada, o piso (em contato com o solo) também recebe uma análise diferenciada, uma vez que o solo, para a situação de pisos nele apoiados, possui uma inércia térmica que mantém sua temperatura relativamente constante ao longo do dia e do ano. TURIK (1988, p. 176) propõe que o cálculo da densidade de fluxo de calor, q , através do piso, seja feito a partir de uma temperatura externa t_e igual à média mensal da temperatura do ar do mês mais quente, no caso de Porto Alegre, $25,0\text{ }^\circ\text{C}$, e a temperatura do ar interno igual ao limite superior de temperatura do ar de conforto, ou seja, $29,0\text{ }^\circ\text{C}$. A temperatura máxima superficial interna do piso, $t_{simáx}$, é dada pela expressão:

$$t_{simáx} = q_{máx} \times R_{si} + t_i \quad [\text{eq. 2.35}]$$

Onde:

$t_{sim\acute{a}x}$ é a temperatura máxima superficial interna do piso, em °C,

$q_{m\acute{a}x}$ é a densidade máxima de fluxo de calor através do piso, em $\frac{W}{m^2}$,

R_{si} é a resistência superficial interna, em $\frac{m^2 K}{W}$,

t_i é a temperatura do ar interno, em °C.

2.5.3.7 Coeficiente de superfície pesada equivalente ou categoria de inércia ($coef_{SPE}$)

ARÓZTEGUI e BRIZOLARA (1980, p. 9) e FROTA e SCHIFFER (1995, p. 50) indicam o uso do conceito de superfície pesada equivalente, *SPE*, método desenvolvido pelo CSTB, para caracterizar o efeito de inércia térmica da edificação como um todo, consequência da acumulação de calor nos fechamentos (paredes externas e piso) e partições internas de uma edificação. A superfície pesada equivalente, *SPE*, é definida como a soma das áreas de todas as partições internas e fechamentos externos, abrigados da radiação solar direta, multiplicados por um coeficiente que depende da relação entre a massa e a área do fechamento e da resistência térmica de sua camada mais interna (no caso de paredes externas e piso). Na latitude de Porto Alegre, AROZTEGUI e BRIZOLARA (1980, p. 10) consideram os fechamentos voltados a Sudeste e Sul-Sudoeste como abrigados do sol, ou fechamentos que possuam uma camada de isolamento térmico voltada ao exterior.

Para encontrar a categoria de inércia térmica da edificação, determina-se o coeficiente de inércia, $coef_{in\acute{e}rcia}$, dos fechamentos a partir da resistência térmica média dos revestimentos internos destes (paredes externas voltadas a Sul e Sul-Sudoeste, paredes internas e pisos) e de partições internas e a razão entre a massa e área dos mesmos. O coeficiente de inércia, $coef_{in\acute{e}rcia}$, será dado através da análise destes valores com o auxílio da *tabela 2.14*. Os pesos dados às superfícies traduzem sua capacidade em absorver e transferir este calor para o interior do fechamento. Este, por sua vez, quanto maior a relação *massa/área*, maior capacidade apresenta de inércia térmica (RCCTE, 2005).

Tabela 2.14. Coef. de inércia $coef_{inércia}$ e grau de inércia térmica de edificação

massa/área dos fechamentos (kg/m^2)	Resistência térmica média do revestimento interno dos fechamentos externos		
	$R_{revest} \left(\frac{m \ K}{W} \right)$ (paredes e pisos)		
	$R_{revest} \leq 0,15$	$0,15 \leq R_{revest} \leq 0,50$	$0,50 \leq R_{revest}$
mais de 200	1	2/3	0
100 a 200	2/3	1/3	0
50 a 100	1/3	0	0
menos de 50	0	0	0

(Fonte: AROZTEGUI e BRIZOLARA, 1980, p. 10)

A superfície pesada equivalente, SPE , será dada por:

$$SPE = A_{total} \times coef_{inércia} \quad [eq. 2.36]$$

Onde:

SPE é a superfície pesada equivalente, em m^2 ,

A_{total} é a área total dos fechamentos (paredes externas) e partições internas, em m^2 ,

$coef_{inércia}$ é o coeficiente de inércia dado pela *tabela 3.2*, grandeza adimensional.

Quando houver fechamentos com diferentes densidades de massa e revestimentos superficiais, é recomendada a obtenção da superfície pesada equivalente, SPE , a partir da soma de parcelas referentes a cada fechamento obtidas pelo produto da área do fechamento e seu $coef_{inércia}$.

O coeficiente de superfície pesada equivalente $coef_{SPE}$ será dado por:

$$coef_{SPE} = \frac{SPE}{A_{edificação}} \quad [eq. 2.37]$$

Onde:

$coef_{SPE}$ é o coeficiente de superfície equivalente pesada, grandeza adimensional,

SPE é a superfície equivalente pesada, em m^2 ,

A_{edif} é a área da edificação delimitada pelo perímetro externo de paredes, em m^2 .

A partir do valor do coeficiente de superfície pesada equivalente, $coef_{SPE}$, pode-se classificar a inércia térmica da edificação, conforme *tabela 2.15*.

Tabela 2.15. Classificação da inércia térmica de uma edificação a partir do coeficiente de superfície pesada equivalente $coef_{SPE}$

coeficiente de superfície pesada equivalente $coef_{SPE}$	classificação da inércia térmica
$coef_{SPE} < 0,5$	muito fraca
$0,5 \leq coef_{SPE} \leq 1,5$	fraca
$coef_{SPE} > 1,5$, com relação massa/área da metade das paredes $< 300 \text{ kg/m}^2$	média
$coef_{SPE} > 1,5$, com relação massa/área da metade das paredes $> 300 \text{ kg/m}^2$	forte

(Fonte: FROTA e SCHIFFER, 1995, p. 50)

A inércia térmica da edificação está relacionada a sua capacidade de acumular energia térmica em seus fechamentos e partições internas. Depende da massa destes fechamentos e do seu revestimento interno, se houver. Quanto maior a capacidade de isolamento térmico dos revestimentos dos fechamentos, menor será a capacidade deste em acumular energia térmica. Por outro lado, quanto maior a massa dos fechamentos e partições internas, maior será sua capacidade de acumulação de energia térmica. A redução do coeficiente de superfície pesada equivalente, $coef_{SPE}$, implica uma maior sensibilidade da edificação às variações de temperatura do ar externo, prejudicando, em alguns casos, o conforto térmico, pois reflete-se em variações de temperatura do ar interno mais acentuadas (ARZTEGUI e BRIZOLARA, 1980, p. 22). Um método similar ao exposto é adotado pelas normas portuguesas (RCCTE, 2005) para caracterização da inércia térmica de edificações.

2.5.3.8 Efusividade térmica do ambiente (ef_{amb})

A propriedade efusividade térmica, ef , é empregada por PAPST (1999, p. 13) na análise de quatro edificações de uso residencial em Florianópolis, SC, como já mencionado no *Capítulo 2, item 2.4.3*. Esse parâmetro térmico tem sido explorado por alguns autores como indicativo

da inércia térmica de uma edificação (MAAS e MALDONADO, 1996; HASSID, 2002). A efusividade térmica, ef , está relacionada à condutividade térmica do material, λ , à sua densidade de massa aparente, ρ , e ao seu calor específico, c , sendo dada por (FANGER, 1970, p. 102; GOULART, 2004, p. 16):

$$ef = \sqrt{\lambda \times \rho \times c} \quad [\text{eq. 2.38}]$$

Onde:

ef é a efusividade térmica do material, em $\frac{W s^{\frac{1}{2}}}{m^2 K}$,

λ é a condutividade térmica do material, em $\frac{W}{m K}$,

ρ é a densidade de massa aparente, em $\frac{kg}{m^3}$,

c é o calor específico do material, em $\frac{J}{kg K}$.

Para um ambiente, segundo GOULART (2004, p. 17), a efusividade térmica, ef , pode ser calculada a partir da média ponderada da efusividade térmica, ef_i , de cada superfície que delimita o ambiente (paredes, piso e forro) em relação às áreas, S_i , de cada uma delas. Ou seja, ela é característica dos revestimentos dos fechamentos que delimitam o ambiente. A efusividade térmica de um ambiente, ef_{amb} , é dada por:

$$ef_{amb} = \frac{\sum_i (S_i \times ef_i)}{\sum_i S_i} \quad [\text{eq. 2.39}]$$

Onde:

ef_{amb} é a efusividade térmica média do ambiente, em $\frac{W s^{\frac{1}{2}}}{m^2 K}$,

S_i é a área de cada superfície que delimitam o ambiente i , em m^2 ,

ef_i é a efusividade térmica da camada mais externa da superfície i , em $\frac{W s^{\frac{1}{2}}}{m^2 K}$.

Segundo GOULART (2004, p. 16), o conceito de efusividade térmica está relacionado com a reação dos primeiros centímetros das seções das superfícies internas de um ambiente aos ganhos internos de calor e seu subsequente efeito sobre a temperatura do ar interno, t_i .

A efusividade térmica, ef , caracteriza a capacidade de um determinado material em transmitir calor através do fenômeno de condução (FANGER, 1970, p. 102), podendo ser utilizado como medida da inércia térmica de um ambiente, pois representa a facilidade com que o calor pode ser absorvido pelos fechamentos que o delimitam. Esta propriedade permite a análise de ambientes onde há ganhos de calor tais como radiação solar penetrando por uma janela, ventilação natural ou fontes internas de calor (GIVONI, 1981, p. 115).

Em fechamentos formados por várias camadas, o efeito combinado da capacidade térmica e da condutividade térmica depende da ordem das camadas. Assim, uma camada com menor condutividade térmica localizada no sentido de penetração do fluxo de calor irá alterar o comportamento de camadas posteriores com maior possibilidade de acúmulo desse calor. Para o interior de uma edificação, o material que reveste os fechamentos (paredes, coberturas e pisos), é importante na inércia térmica do recinto, pois facilitarão ou impedirão a saída e entrada de calor no ambiente, influenciando no atraso térmico e coeficiente de amortecimento deste. FANGER (1970, p. 102) relata a importância da efusividade térmica em ambientes em que existe a possibilidade das pessoas entrarem em contato direto com as superfícies, tais como banheiros e dormitórios (onde as pessoas podem andar descalças). Nessas situações não é só a temperatura das superfícies que terá importância, pois, por exemplo, duas superfícies na mesma temperatura, porém de diferentes materiais, produzirão sensações diferentes, tal como acontece com um piso de cerâmica e um piso de madeira. O autor apresenta as faixas desejáveis de temperatura superficial para diferentes materiais bem como suas respectivas efusividades térmicas. Esses valores são encontrados para uma situação específica: pés descalços em contato com o piso. Neste estudo, por tratar de habitação de interesse social, não será considerado este critério para os pisos.

A efusividade térmica média, \overline{ef} , da edificação (média das efusividades térmicas dos ambientes) pode ser usada concomitante ao coeficiente de superfície pesada equivalente,

$coef_{SPE}$, como um indicativo da inércia térmica da edificação como um todo. O coeficiente de superfície pesada equivalente, $coef_{SPE}$, refere-se a edificação como um todo, enquanto que a efusividade térmica média, \overline{ef} , refere-se a uma média obtida a partir das efusividades térmicas de cada ambiente. Valores de referência para análise são indicados por LIMAN e ALLARD (apud GOULART, 2004, p. 53). Valores de efusividade térmica média, \overline{ef} , em torno de 300 são associados a edificações de inércia térmica leve e valores em torno de 1.500, inércia térmica forte.

2.5.3.9 Taxas da envolvente da edificação ($coef_{coberturaS}$ e $coef_{paredeN}$)

PAPST (1999, p.46) propõe o uso de taxas que expressam características geométricas da edificação como uma forma de abordagem do comportamento térmico da mesma em função de sua volumetria. Neste trabalho, propõe-se o uso de duas taxas que são um indicativo do papel da cobertura e da parede norte nos ganhos de calor, no verão e inverno, em relação a envolvente total da edificação: taxa área da cobertura voltada a Sul ou Sudeste \times área total da cobertura, $coef_{coberturaS}$, e taxa área da parede voltada a Norte \times área da envolvente, $coef_{paredeN}$. A relação entre a área da cobertura e a área da envolvente (exceto piso) também é importante para as trocas térmicas entre edificação e meio que a circunda, sendo desejável que sua área seja mínima em relação à área da envolvente da edificação ou que receba um tratamento adequado para reduzir os ganhos térmicos através dela. Para edificações térreas, a cobertura pode ser responsável por cerca de 70,0% das trocas térmicas entre a edificação e o meio (MASCARÓ e MASCARÓ, 198?, p.17). Como o estudo trata de edificações térreas, a cobertura é considerada importante dentro do conjunto dos fechamentos da edificação.

2.5.3.9.1 Taxa cobertura sul ou sudeste \times área total da cobertura ($coef_{coberturaS}$)

A taxa área da cobertura voltada a Sul ou Sudeste \times área total da cobertura, $coef_{coberturaS}$, indica a orientação solar preferencial da cobertura para a situação de verão, quando o objetivo é reduzir os ganhos térmicos por este fechamento. Seu valor será dado por:

$$coef_{coberturaS} = \frac{\text{área da cobertura voltada a Sul ou Sudeste}}{\text{área total da cobertura}} \quad [\text{eq. 2.40}]$$

A cobertura, para a latitude de Porto Alegre, tem um papel importante nos ganhos de calor no período do verão, sendo desejável que sua orientação seja Sul ou Sudeste a fim de diminuir os ganhos de calor, pois estas são as orientações de menor insolação nesta época do ano. Portanto, o valor de $coef_{coberturaS}$ deve ser igual ou maior a 0,5, o que indica que a água sul ou sudeste da cobertura é no mínimo igual ou maior à água norte ou noroeste.

2.5.3.9.2 Taxa área da parede norte ou nordeste \times área da envolvente vertical ($coef_{paredeN}$)

A taxa área da parede voltada a Norte ou Nordeste \times área da envolvente vertical, $coef_{paredeN}$, onde área da envolvente vertical é entendida como área total da envolvente da edificação, exceto o piso e cobertura, indica a importância da parede voltada a Norte ou a Nordeste nas trocas térmicas entre edificação e meio que a circunda. Seu valor será dado por:

$$coef_{paredeN} = \frac{\text{área da parede norte}}{\text{área da envolvente vertical}} \quad [\text{eq. 2.41}]$$

Para o período de inverno, a parede Norte ou Nordeste, mais exposta à radiação solar, é importante nos ganhos de calor, situação proposta pela ABNT (2005), como aquecimentos solar passivo, portanto é desejável que haja paredes maiores e aberturas voltadas para esta direção. Não se considera a orientação Noroeste, pois, neste caso, prejudicam-se as condições de verão, aumentando ganhos de calor por este fechamento. Para uma edificação de projeção em planta exatamente quadrada, a relação parede norte ou nordeste e área total da envolvente vertical é igual a 0,25. Quanto maior a área da parede voltada a Norte ou Nordeste (indicando uma planta retangular com a maior face voltada para as orientações preferenciais) maior será o valor do $coef_{paredeN}$, logo o critério adotado para este requisito é que seu valor seja igual ou maior a 0,25.

A *tabela 2.16* apresenta um resumo dos parâmetros térmicos adotados no estudo.

Tabela 2.16. Resumo dos parâmetros térmicos adotados no estudo

parâmetro térmico	proc. de cálculo	influência no comportamento térmico da edif.
Fechamentos		
resistência térmica total R_T e transmitância térmica U	ABNT (2005b)	densidade de fluxo de calor q para situação de inverno, temperatura superficial interna t_{si}
atraso térmico φ	ABNT (2005b)	defasagem entre as temperaturas máximas ocorridas no exterior e interior com radiação solar direta (verão)
coeficiente de amortecimento μ	Mackey & Wright apud GIVONI (1981)	redução de amplitude de onda de temperatura do ar interno
fator de calor solar FCS	ABNT (2005b)	incremento de ganhos de calor devido a radiação solar
absortância ∞	ABNT (2005b)	absorção ou reflexão da radiação solar
Edificação		
coeficiente volumétrico global de perda de calor $GV_{inverno}$	GIVONI (1981), TURIK (1988)	comportamento global da edificação frente à passagem de fluxo de calor Q para situação de inverno
condensação superficial na alvenaria e no forro t_{si}	MARKUS & MORRIS (1980), COSTA (1982); ISO13788 (2001)	existência de condensação sobre superfícies internas, determinado pela resistência térmica total R_T dos fechamentos
assimetria da radiação térmica ΔT_{tp}	ISO7726 (1996), ASHRAE (2005)	desconforto do usuário devido à transmissão de calor por radiação
Edificação		
coeficiente volumétrico global de ganho de calor $GV_{verão}$	GIVONI (1981), TURIK (1988)	comportamento global da edificação frente à passagem de fluxo de calor Q para situação de verão
coeficiente de superfície pesada equivalente $coef_{SPE}$	AROTZTEGUI e BRIZOLARA (1980); FROTA e SCHIFFER (1995)	comportamento da temperatura do ar interno t_i frente às variações de temperatura do ar externo t_e , relacionado à inércia térmica da edificação
efusividade térmica do ambiente ef_{amb}	FANGER (1970), YANNAS e MALDONADO apud PAPST (1999)	comportamento frente à passagem de fluxo de calor Q frente a ganhos internos, relacionado à inércia térmica da edificação
taxas da envolvente da edificação	sugerido	comportamento global da edificação frente à passagem de fluxo de calor Q

2.5.4 Análise das condições de ventilação natural

A ABNT (2005c, p. 6, 7) indica, para a Zona Bioclimática 3, a qual pertence Porto Alegre, a presença de ventilação cruzada como estratégia bioclimática para a situação de verão. Especifica uma faixa para a área das aberturas de acordo com uma percentagem do piso, como já discutido no *item 2.2.1*.

Neste estudo, propõe-se que a análise da ventilação natural seja feita a partir da configuração (tamanho e distribuição sobre o envelope da edificação) das aberturas e sua adequação às necessidades de remoção do calor gerado pela ocupação da habitação, do calor acumulado em partições internas e do máximo valor de fluxo máximo de calor, $Q_{máx}$, encontrado no cálculo dos coeficientes volumétricos parciais de ganho de calor, GV_i , por orientação solar, como complementação das diretrizes indicadas pela ABNT (2005c, p. 7).

Para a análise das condições de ventilação natural das habitações, para uma situação de verão, parte-se do princípio de que o uso da ventilação natural, para fins de arrefecimento da temperatura do ar interno e da remoção de calor das partições internas, é feito em um horário em que a temperatura do ar externo esteja mais baixa do que a temperatura do ar interno, preferencialmente abaixo do limite superior da zona de conforto ($29,0\text{ }^{\circ}\text{C}$), de acordo com GIVONI (1992). Estas temperaturas ocorrem, em geral, no período noturno (final da noite e madrugada). Portanto, provavelmente, as aberturas estarão fechadas por motivos de privacidade e segurança, daí a importância de que as mesmas apresentem dispositivos de fechamento que não barrem totalmente a ventilação natural. Estes dispositivos são comumente venezianas ou persianas, acompanhadas ou não de telas mosquiteiras.

Propõem-se duas situações em que a ventilação natural pode influenciar as condições térmicas do ambiente interior: ventilação natural por ação do vento e ventilação natural por diferença de temperatura (efeito chaminé).

A ventilação natural por ação do vento só é possível quando o ar possuir movimento suficiente para promover uma renovação de ar que permita a remoção de calor do interior da edificação em níveis desejáveis. Este movimento de ar nem sempre está disponível no local de implantação da edificação, seja devido à configuração urbana, que pode barrar de forma significativa a incidência de ventos sobre a edificação, seja pelo fenômeno natural de calmaria, onde o ar encontra-se parado. No caso de não haver disponibilidade de ventos, a

ventilação natural por diferença de temperatura pode promover a renovação de ar desejada, embora em um grau menor do que a ventilação por ação do vento, principalmente quando não houver aberturas posicionadas de forma a aumentar este efeito. Quanto maior a distância vertical das aberturas, maior será a ventilação por diferença de temperatura (ASHRAE, 2005, p. 27.11).

Neste estudo, propõe-se a análise da eficiência das aberturas para os dois tipos de ventilação natural citados acima. A seguir, descreve-se o método simplificado de cálculo de fluxo de ar, Φ_{ar} , ou taxa de ventilação, conforme descritos por MAAS (1992, p. 117), FROTA e SCHIFFER (1995, p. 126), SANTAMOURIS (1998, p. 54, 63), LAMBERTS et al. (2000, p. 41) e ASHRAE (2005, p. 27.10). Segundo SANTAMOURIS (1998, p. 64), o método simplificado permite uma aproximação do fenômeno real para fins de projeto da edificação, compatível com o nível de informação que se deseja nesta fase de análise, tal como a predição das taxas de ventilação promovidas pela configuração das aberturas.

O fluxo de ar, Φ_{ar} , para ventilação cruzada devido à ação do vento pode ser calculado através da expressão (LAMBERTS et al., 2000, p. 44; SANTAMOURIS, 1998, p. 65):

$$\Phi_{ar} = 0,6 \times A \times v_z \times \sqrt{\Delta C_p} \quad [\text{eq. 2.42}]$$

Onde:

Φ_{ar} é o fluxo de ar devido à ação dos ventos, em $\frac{m^3}{s}$,

A é a área útil para ventilação calculada conforme expressão dada a seguir, em m^2 ,

v_z é a velocidade do vento corrigida conforme as características do local de implantação da edificação, em m/s ,

ΔC_p é um coeficiente relativo à diferença de pressão entre as faces da edificação expostas à ação do vento, grandeza adimensional.

A é a área equivalente das aberturas resulta de uma relação entre área útil de entrada de ar, $A_{entrada}$, área útil de saída de ar, $A_{saída}$, e área intermediária, A_{inter} , devido a divisões internas

da edificação (portas, tabiques, etc.). A área equivalente, A , é dada em função de área de entrada do ar, $A_{entrada}$, área de saída do ar, $A_{saída}$, e área intermediária, A_{inter} , por:

$$\frac{1}{A^2} = \frac{1}{A_{entrada}^2} + \frac{1}{A_{saída}^2} + \frac{1}{A_{inter}^2} \quad [\text{eq. 2.43}]$$

Onde:

A é a área equivalente de ventilação, em m^2 ,

$A_{entrada}$ é a área útil de aberturas por onde entra o ar na edificação (fachada voltada aos ventos predominantes, submetida a alta pressão), em m^2 ,

$A_{saída}$ é a área útil de aberturas por onde sai o ar da edificação (demais aberturas em faces submetidas à baixa pressão), em m^2 ,

A_{inter} é a área de aberturas internas à edificação que se interpõem às áreas de entrada e saída do ar, em m^2 .

A área útil das aberturas para ventilação pode não ser coincidente com a área para iluminação e as devidas reduções devem ser feitas neste caso. Quando houver presença de telas mosquiteiras e/ou venezianas, deve-se multiplicar a área das aberturas para ventilação pelos coeficientes de redução correspondentes, conforme *tabela 2.17* (LAMBERTS et al., 2000, p. 45; SCIGLIANO & HOLLO, 2001, p. 11).

Tabela 2.17. Coeficientes de redução devido ao uso de anteparos

anteparo	coef. de redução	anteparo	coef. de redução
tela em algodão	0,30	veneziana em madeira, 0,02 m entre aletas	0,50
tela em náilon	0,65	veneziana metálica com orifícios	0,20

(Fonte: LAMBERTS et al., 2000, p. 45; SCIGLIANO & HOLLO, 2001, p. 11)

A correção da velocidade do vento, v_z , no local, é feita a partir da velocidade do vento, v_{10} , medida em estações meteorológicas, geralmente a 10m de altura do solo, segundo a expressão (LAMBERTS et al., 2000, p. 43):

$$v_z = v_{10} \times K \times Z^a \quad [\text{eq. 2.44}]$$

Onde:

v_z é a velocidade do vento na altura Z de interesse, em $\frac{m}{s}$,

v_{10} é a velocidade do vento a 10 m de altura, em m/s,

Z é a altura da cumeeira para edificações de até dois pavimentos ou a altura da janela para as edificações mais altas, em m,

As constantes K e a são dadas em função da densidade urbana conforme *tabela 2.18*.

Tabela 2.18. Valores dos coeficientes K e a em função da densidade urbana

localização	campo aberto	campo com barreiras	ambiente urbano	centro da cidade
K	0,68	0,52	0,40	0,31
a	0,17	0,20	0,25	0,33

(Fonte: LAMBERTS et al., 2000, p. 44)

A velocidade do vento a ser adotada para fins de análise é a média dos meses de janeiro e fevereiro (meses com maiores temperaturas máximas diárias), sendo igual a 3,0m/s, soprando da direção Leste e Sudeste, conforme dados de GOULART (1998, p. 197, 198), apresentados no *item 2.5.1*. Para a análise, considera-se uma das direções, Leste ou Sudeste, selecionando-se a mais favorável para a captação de ventos através das aberturas da habitação sendo analisada.

O coeficiente ΔC_p , relativo à diferença de pressão entre as faces da edificação expostas à ação do vento, é dado em função do ângulo de incidência do vento sobre a fachada que contém a abertura. A *figura 2.8* indica o ângulo formado entre a direção e sentido do vento no local do projeto e a normal à fachada exposta ao mesmo.

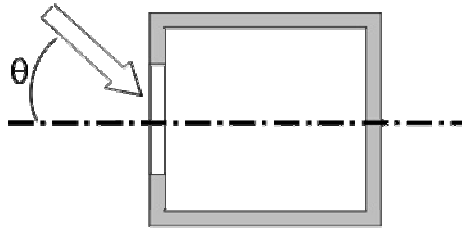


Figura 2.8. Ângulo formado entre a direção do vento incidente sobre uma fachada e a normal desta fachada

A *tabela 2.19* apresenta a diferença entre os coeficientes de pressão do vento, ΔC_p , de acordo com o ângulo de incidência do vento, θ , em graus (LAMBERTS et al., 2000, p. 43).

Tabela 2.19. Diferença entre os coeficientes ΔC_p do vento para edificações em campo aberto

ângulo de incidência θ em graus	diferença entre os coeficientes de pressão do vento ΔC_p
$0 \leq \theta \leq 30^\circ$	1,2
$30^\circ < \theta \leq 90^\circ$	$0,1 + 0,0183 (90 - \theta)$

(Fonte: LAMBERTS et al., 2000, p. 43)

Para edificações em meio urbano, o valor do coeficiente ΔC_p deve ser corrigido conforme a densidade de construções, com indicado na *tabela 2.20*.

Tabela 2.20. Coeficiente corrigido de pressão do vento para loteamentos

Distância entre as casas	Coefficiente de pressão do vento $\Delta C_{p\text{corrigido}}$
uma casa	$0,30 \Delta C_p$
duas casas	$0,60 \Delta C_p$

(Fonte: LAMBERTS et al., 2000, p. 43)

Para edificações isoladas, usa-se diretamente o valor obtido na *tabela 2.19*, para loteamentos (mais de uma casa), deve-se fazer o cálculo a partir de ΔC_p , encontrando $\Delta C_{p\text{corrigido}}$ através da *tabela 2.20*.

A área útil para ventilação pode não corresponder à área real da janela, pois, dependendo do tipo de janela, o vão disponível para ventilação é menor do que o vão real da mesma. A correção é feita segundo as proporções indicadas na *tabela 2.21*.

Tabela 2.21. Área útil em função da área do vão da abertura para algumas janelas mais usuais

tipo de janela	área útil - $A_{\text{útil}}$	fonte
guilhotina	$0,5 \times \text{área da abertura}$	LAMBERTS et al., 2000, p. 44
correr	$0,5 \times \text{área da abertura}$	LAMBERTS et al., 2000, p. 44
basculante	$(1 - \cos \beta) \times \text{área da abertura}^*$	BARBOSA, 1992, p. 240

* ângulo β dado em graus, menor ângulo formado entre o plano da parede e a inclinação da bascula

O fluxo de ar, Φ_{ar} , para ventilação por diferença de temperatura, considerando-se uma abertura, pode ser calculado através da expressão (SANTAMOURIS, 1998, p. 65):

$$\Phi_{ar} = 0,6 \times \frac{A_{\text{útil}}}{3} \times \sqrt{\frac{19,6 \times (t_i - t_e) \times l_{\text{altura}}}{t_i + t_e}} \quad [\text{eq. 2.45}]$$

Onde:

Φ_{ar} é o fluxo de ar devido à diferença de temperatura para uma abertura, em $\frac{m^3}{s}$,

$A_{\text{útil}}$ é a área útil para ventilação da abertura, em m^2 ,

t_i é a temperatura do ar interno, em $^{\circ}\text{C}$,

t_e é a temperatura do ar externo, em $^{\circ}\text{C}$,

l_{altura} é a altura do vão livre da abertura, considerando-se a área útil para ventilação, em m .

Caso a ventilação por diferença de temperatura ocorra através de duas aberturas em posições verticais relativas diferentes, o cálculo do fluxo de ar é dado por (SANTAMOURIS, 1998, p. 65):

$$\Phi_{ar} = 0,6 \times A_{\text{útil}12} \times \frac{19,6 \times (t_i - t_e) \times l_{\text{médio}}}{t_i + t_e} \quad [\text{eq. 2.46}]$$

Onde:

Φ_{ar} é o fluxo de ar devido à diferença de temperatura para duas aberturas, em $\frac{m^3}{s}$,

$A_{\text{útil}12}$ é dada pela equação 3.47,

t_i é a temperatura do ar interno, em °C,

t_e é a temperatura do ar externo, em °C,

$l_{\text{médio}}$ é a distância entre a metade do vão livre para ventilação das duas aberturas, em m .

A área equivalente das aberturas, $A_{\text{útil}12}$, resulta de uma relação entre a área útil das duas aberturas segundo a equação:

$$A_{\text{útil}12} = (A_1 + A_2) \times \frac{A_1}{A_2} \times \frac{\sqrt{2}}{\left(1 + \frac{A_1}{A_2}\right) \times \left[1 + \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2\right]^{1/2}} \quad [\text{eq. 2.47}]$$

Onde:

A_1 é a área da abertura superior, em m^2 ,

A_2 é a área da abertura inferior, em m^2 .

Conhecendo-se o fluxo de ar, Φ_{ar} , promovido pelas aberturas dos dois protótipos, pode-se encontrar o fluxo de calor, $Q_{\text{ventilação}}$, retirado pela ventilação natural através da expressão (ASHRAE, 2005, p. 27.9, LAMBERTS et al., 1997, p. 98):

$$Q_{\text{ventilação}} = \Phi_{ar} \times [c_{ar} \times (t_e - t_i) + \rho_{ar} \times (H_e - H_i)] \quad [\text{eq. 2.48}]$$

Onde:

$Q_{\text{ventilação}}$ é o fluxo de calor removido através da ventilação, em W ,

Φ_{ar} é o fluxo de ar, em m^3/s ,

c_{ar} é o calor específico volumétrico do ar à pressão constante, igual a $1.200 \frac{J}{m^3 \cdot ^\circ C}$,

t_e é a temperatura do ar externo, suposta ser igual a $27,0 \text{ }^\circ C$ ou $24,0 \text{ }^\circ C$ ¹⁰, conforme análise sendo efetuada (ventilação por ação do vento ou ventilação por diferença de temperatura) conforme explicação que segue ainda neste item.

t_i é a temperatura do ar interno, suposta ser a temperatura do limite superior da zona de conforto, igual a $29,0 \text{ }^\circ C$,

ρ_{ar} é a massa específica do ar, igual a $1,2 \text{ kg/m}^3$,

H_e é a entalpia do ar externo, para $27,0 \text{ }^\circ C$, umidade relativa *UR* de 72 %, igual a 68.000 J/kg , para $24,0 \text{ }^\circ C$, com umidade relativa *UR* de 86 %, igual a 66.000 J/kg ,

H_i é a entalpia do ar interno, com umidade relativa *UR* de 77 %¹¹, igual a 79.000 J/kg .

Uma vez calculado o fluxo de calor, $Q_{ventilação}$, removido através da ventilação natural, pode-se comparar este valor com o calor gerado pela ocupação da edificação e aquele acumulado nas partições internas.

Para fins de análise, quanto aos ganhos internos de calor, Q_i , supõe-se que a edificação esteja sendo habitada por uma família composta de cinco pessoas em atividade sedentária (ISO, 1994, p.6), com duas lâmpadas incandescentes acesas, um aparelho televisor e uma geladeira, com fluxos de calor parcial e total indicados na *tabela 2.22*. Para um dos dormitórios supõe-se a ocupação de duas pessoas em repouso (dormindo).

¹⁰ A temperatura do ar externo, t_e , é obtida a partir da média das temperaturas do ar externo conforme dados de AROZTEGUI (1980, p. 61), entre 20 e 23 horas, para $27,0^\circ C$ e entre 0h e 8h, para $24,0^\circ C$. A umidade relativa, *UR*, é obtida através e das umidades relativas para os horários acima, para um dia típico de projeto para a situação de verão, nível 1%, segundo dados de GOULART (1997, p. 186), uma vez que a primeira fonte não apresenta dados de umidade relativa. Os dois conjuntos de dados sobre temperatura do ar externo, t_e , são bastante próximos.

¹¹ A umidade relativa *UR* para o ar interno é encontrada a partir do procedimento descrito no item 3.3.8, deste capítulo, supondo-se uma classe 3 (habitação com baixa ocupação).

Tabela 2.22. Fluxo de calor hipotético gerado pela ocupação da habitação

fonte de calor	fluxo de calor (W)	total parcial (W)
cinco pessoas em atividade sedentária (sentados)	160	800
duas lâmpadas incandescentes	80	160
aparelho televisor 14 polegadas	60	60
geladeira 280 litros	40	40
	total	1.060 W
duas pessoas em repouso (dormindo)	100 W cada	200 W

Para verificar a eficiência da ventilação natural na remoção do calor acumulado em partições internas, considera-se a inércia térmica das paredes internas e sua respectiva área. Essa propriedade poderá fazer com que, mesmo estando a temperatura do ar externo, t_e , mais baixa do que a temperatura do ar interno, t_i , o interior da edificação continue recebendo o calor armazenado durante o dia nas partições internas. É feito um cálculo aproximado da quantidade de calor necessária para abaixar a temperatura das partições internas da edificação (RIVERO, 1.985, p. 112). Para tanto, necessita-se das áreas de cada partição interna e de suas respectivas capacidades térmicas, C_T . A partir do produto dessas duas grandezas, obtém-se a quantidade de energia requerida para a redução da temperatura desses elementos.

$$Q_{kJ/K} = \text{área} \times C_T \quad [\text{eq. 2.49}]$$

Onde:

$Q_{kJ/K}$ é a quantidade de energia térmica a ser removida das partições internas para redução de sua temperatura em $1,0 \text{ }^\circ\text{C}$, em $\frac{kJ}{K}$,

área é a área das partições internas, em m^2 ,

C_T é a capacidade térmica das partições internas, em $\frac{kJ}{m^2 K}$.

Uma vez obtido os dois valores, fluxo de calor devido à ocupação da habitação, Q_i , e energia térmica a ser removida das partições internas, $Q_{kJ/^\circ\text{C}}$, procede-se a análise do fluxo de calor,

$Q_{ventilação}$, removido através da ventilação natural. Verifica-se se a ventilação natural por ação do vento, com as aberturas plenamente abertas (com dispositivos como venezianas e similares abertos), remove o fluxo de calor, Q_i , gerado pela ocupação da edificação ($1.060W$) e diminui a temperatura das partições internas, supostas inicialmente em $29,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, em $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, no máximo em 2,0 horas, considerando-se a temperatura do ar externo igual a $27,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (entre 20 e 23h, com janelas abertas). Verifica-se se a ventilação natural, por diferença de temperatura, para o dormitório voltado a Oeste, Sudoeste ou Noroeste, nesta ordem de prioridade, remove o calor gerado por dois ocupantes em estado de repouso ($200W$), considerando-se apenas a área de abertura que possua dispositivo de segurança e privacidade que permitam a ventilação noturna durante o sono dos mesmos (venezianas ou similares nos dormitórios, grades de proteção ou similares, nas demais aberturas). Neste caso, a temperatura do ar externo é igual a $24,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (situação de ar parado e horário de sono, entre 24 e 8h). Finalmente, verifica-se se a ventilação natural por ação do vento remove o fluxo máximo de calor, $Q_{máx}$, para a situação de verão, embora este fluxo possa não ser simultâneo à ventilação disponível.

Os métodos descritos acima são aproximações. O fenômeno das trocas de energia térmica entre a envolvente da edificação, suas partições internas, mobiliário, usuários é bem mais complexo do que é aqui considerado. No entanto, os valores encontrados dão uma idéia da quantidade de ventilação natural necessária para a obtenção do resfriamento do ambiente interior. Observa-se que, para uma situação de verão, com baixas amplitudes de onda de temperatura do ar externo, a ventilação natural assume um papel importante, mas as características dos fechamentos e partições internas também são fundamentais para amenização das condições de conforto no interior das edificações. Como já comentado neste trabalho, a grande variação de condições externas de temperatura, típica do clima da região de Porto Alegre, situações de tempo seco, com variações significativas da temperatura do ar externo, e situações de tempo quente e úmido, com temperaturas elevadas e grande umidade relativa do ar, com ar parado, torna difícil a adoção de uma solução que privilegie a situação de inverno ou verão. No primeiro caso, o acúmulo de energia térmica pela envolvente da edificação e pelas partições internas pode ser desejável. Já na segunda situação, uma envolvente leve, com baixa inércia térmica e amplas aberturas, seria mais conveniente.

2.6 Considerações finais do capítulo

A busca pela qualidade de habitações de interesse social passa pela sua avaliação e um método padrão que possa satisfazer as especificidades culturais de cada região do país seria uma importante ferramenta para o contínuo beneficiamento da qualidade de tais edifícios. As abordagens apresentadas possuem pontos importantes que podem ser perseguidos e combinados em uma abordagem mais ampla, tais como: a análise global da edificação, as horas de desconforto, os limites de conforto térmico considerados, a ponderação dos requisitos e critérios de desempenho, graus-hora e graus-médios, efusividade térmica, superfície pesada equivalente, entre outros, e a consideração de requisitos qualitativos que podem ser admitidos ainda na fase de concepção do projeto. A *tabela 2.22*, um resumo das abordagens descritas neste capítulo é apresentado.

Tabela 2.23. Resumo das abordagens de avaliação de desempenho higrotérmico apresentadas neste estudo

abordagem	requisitos	descrição	comentários
normas técnicas (ABNT, 2004, 2005)	exigências de inverno e de verão, área das aberturas mínimas, ventilação cruzada, transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar (paredes e coberturas), estratégias de condicionamento térmico passivo, absorvância, capacidade térmica de fechamentos e fator de ventilação de áticos de cobertura	abrangência nacional, recomenda dois tipos de avaliação: medições in loco ou simulações computacionais através da adoção do dia típico de inverno e verão, estipula métodos de cálculo ou medição dos parâmetros térmicos, classifica a habitação segundo três níveis (mínimo, intermediário e superior)	pouca diferenciação de alguns parâmetros por zona bioclimática, não estipula orientação de aberturas para otimização da ventilação natural, classificação de vedações e partições em pesadas ou leves não explícita, amplitude diária de onda de temperatura do ar externo inferior a 10,0°C, limite mínimo de temperatura do ar interno no inverno de 12,0°C
avaliação por comparação com um padrão (TURIK, 1988)	exigências de inverno e de verão, coeficientes volumétricos globais de perdas e ganhos de calor, verificação de condensação sobre as superfícies e interna nas paredes e forro, verificação da heterogeneidade das temperaturas superficiais internas, diferença entre as temperaturas ambientes médias orientadas, ventilação	abrangência local (Porto Alegre / RS), fundamenta-se em um conjunto de procedimentos de cálculo e critérios prescritos em normas nacionais e internacionais, bem como em referências especializadas, método de avaliação por comparação com um padrão culturalmente aceito conforme comprovado pela experiência da COHAB / RS	considera grande número de parâmetros higrotérmicos da edificação, considera as contribuições proporcionais dos diferentes tipos de fechamentos que compõe a envolvente da habitação, uso de variáveis obtidas através de leituras de gráficos pode não ser adequado pois leva a erros grosseiros, uso de critérios baseados em experiências internacionais podem ser inadequados ao contexto brasileiro

Tabela 2.23. continuação

abordagem	requisitos	descrição	comentários
avaliação através do número de horas de desconforto térmico (BARBOSA, 1997)	número de horas de desconforto anuais admissíveis	abrangência local (Londrina / PR), adota um padrão de habitação de interesse social culturalmente aceita verificando o número de horas de desconforto admitidos pelos usuários, sugere ajustes que não oneram o custo da habitação padrão e que diminuem as horas de desconforto por ela proporcionada	considera a opinião dos usuários (avaliação em uso das habitações), não diferencia horas de desconforto por inverno e verão, necessidade de aumentar a amostra e de estender o tempo de levantamentos para aumentar validade dos resultados, não considera o grau de afastamento das temperaturas do ar interno em relação ao intervalo de conforto, tal como graus-hora e graus-médio
avaliação baseada na primeira e terceira abordagens (SILVA e BASSO, 2002; GRIGOLETTI, SEDREZ e SATTLER, 2001)	número de horas de desconforto admissíveis, temperatura do ar interno, área de aberturas para ventilação natural, transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar para paredes e cobertura, estratégias bioclimáticas	abrangência local, baseia-se nos resultados obtidos por BARBOSA (1997) e na zona de conforto de GIVONI (1992), baseia-se no Código de Edificações locais para definição de área de aberturas, define uma ponderação para os diferentes requisitos, analisa a edificação segundo as quatro orientações solares básicas ou considera a orientação solar prevista em projeto, analisa o uso de estratégias bioclimáticas recomendadas pela ABNT (2005c) e outras de forma qualitativa	horas de desconforto admissíveis são iguais as horas de desconforto promovidas pelo ambiente natural, áreas de aberturas para ventilação são baseadas em documento menos rígido do que ABNT (2005c), análise por orientação solar não leva em conta que o projeto arquitetônico é desenvolvido para condições ambientais específicas e não pode ser rotacionado livremente em diferentes orientações solares, ponderação não diferencia importância de cada requisito para desempenho higrotérmico da habitação
avaliação não-prescritiva (IPT, 1998?)	fluxo de calor através dos fechamentos, temperatura superficial interna, temperatura do ar interno, número de renovação do ar interno	abrangência nacional, define um conjunto de etapas e variáveis a serem consideradas no processo de avaliação, baseia-se no uso de programas computacionais ou cálculos manuais, baseia-se no dia típico de projeto, considera ganhos internos de calor devido aos usuários, define três níveis de classificação para inverno e verão, apresenta avaliação de sistemas construtivos mais usuais de acordo com diferentes regiões climáticas	não admite análise de aspectos qualitativos relacionados ao projeto, procedimentos matemáticos não são explicitados, dia típico de projeto adotado não é adequado à simulação do comportamento térmico, temperatura radiante média é considerada igual a temperatura do ar interno, negligenciando efeito de superfícies frias ou quentes no conforto dos usuários, velocidade do vento é baseada em aproximações, limite mínimo de temperatura do ar interno no inverno de 12,0°C, admite captação de ventos quentes durante o dia no verão

Os modelos físicos apresentados no *item 2.5* para cálculo dos parâmetros térmicos propostos no método baseiam-se em duas condições para transmissão de calor de meio a meio através dos fechamentos da envolvente da edificação: regime estacionário e regime periódico. O regime estacionário é usado para a análise do comportamento higrotérmico da edificação para a situação de inverno ou condição de frio. O regime estacionário pressupõe que as

temperaturas do ar externo e interno não variam no tempo. O regime periódico é usado na análise do comportamento higrotérmico da edificação para a situação de verão ou condição de calor. O regime periódico pressupõe que as temperaturas do ar externo e interno variam de forma periódica e senoidal no decorrer do tempo. No entanto, para fins de simplificação, neste trabalho considera-se que apenas a temperatura do ar externo é variável.

Modelos físicos não simulam o comportamento real de uma edificação pois envolvem várias aproximações. As temperaturas internas são supostas constantes, para efeitos de simplificação. Esse modelo não é totalmente válido para edificações condicionadas naturalmente. As condições climáticas para fins de cálculo também envolvem aproximações. Os fluxos de calor são considerados em seus valores máximos não simultâneos. Isto implica que os coeficientes volumétricos globais de perda e ganho de calor, $GV_{inverno}$ e $GV_{verão}$, não reproduzem os fluxos de calor reais verificados entre as trocas térmicas da edificação com o meio. Não se considera, em seu cálculo, o efeito da ventilação natural. Essas aproximações são adotadas para permitir uma análise simplificada e independente do uso de programas computacionais. A análise dos fluxos máximos de calor, $Q_{máx}$, permite ao projetista uma compreensão mais rápida do comportamento térmico da envolvente da edificação, de acordo com seus diferentes elementos constituintes, adotando soluções de melhor desempenho térmico. Além disso, na comparação de duas ou mais soluções projetuais, adota-se a mesma aproximação. Os resultados devem ser analisados de forma relativa, não absoluta.

Os parâmetros térmicos foram selecionados a partir da bibliografia conforme sua aplicação por pesquisadores da área. Não significa que sejam os ideais para a análise das edificações, mas que seu uso consagrado os tornam mais adequados, considerando-se o fim buscado com este estudo. Em relação à análise das condições de ventilação natural sugerida, cabem estudos mais aprofundados de condições de ventilação e dos objetivos que se pretende atingir com seu uso, para uma quantificação mais adequada dos vãos para ventilação e sua disposição nas fachadas. No entanto, a simplicidade na sua aplicação facilita seu uso como ferramenta na tomada de decisão na fase de concepção de projeto.

Apesar destas aproximações, entende-se que a simplicidade e transparência nos procedimentos adotados, envolvendo cálculos pouco complexos e que não necessitam da ajuda de programas computacionais, são os principais argumentos na defesa deste estudo, pois estão acessíveis a todos, um dos objetivos deste trabalho. Além disso, considerando-se os

cálculos matemáticos, as aproximações e suposições são aplicadas a todos os projetos avaliados, ou seja, a avaliação é feita por comparação, não de forma absoluta.

3 APLICAÇÃO DOS PARÂMETROS TÉRMICOS NOS PROJETOS SELECIONADOS COMO REFERÊNCIA

Este capítulo tem por objetivo apresentar os quatro projetos selecionados para avaliação (protótipos *Aglotec* e *Alvorada*, e *projetos-referência 1* e *2*) e apresentar os resultados obtidos com a aplicação dos parâmetros térmicos apresentados no *item 2.5* do *Capítulo 2*.

3.1 Protótipo Aglotec

3.1.1 Descrição do protótipo Aglotec

As informações sobre o protótipo *Aglotec* foram obtidas de BECKER (1992). O protótipo *Aglotec* é uma edificação térrea de $56,76m^2$ ($7,15m \times 8,50m$), com áreas cobertas, isolada no lote e orientado segundo os eixos Nordeste-Sudoeste e Noroeste-Sudeste. A *figura 3.1*, *tabelas 3.1*, *3.2* e *3.3* descrevem os fechamentos do protótipo *Aglotec*.

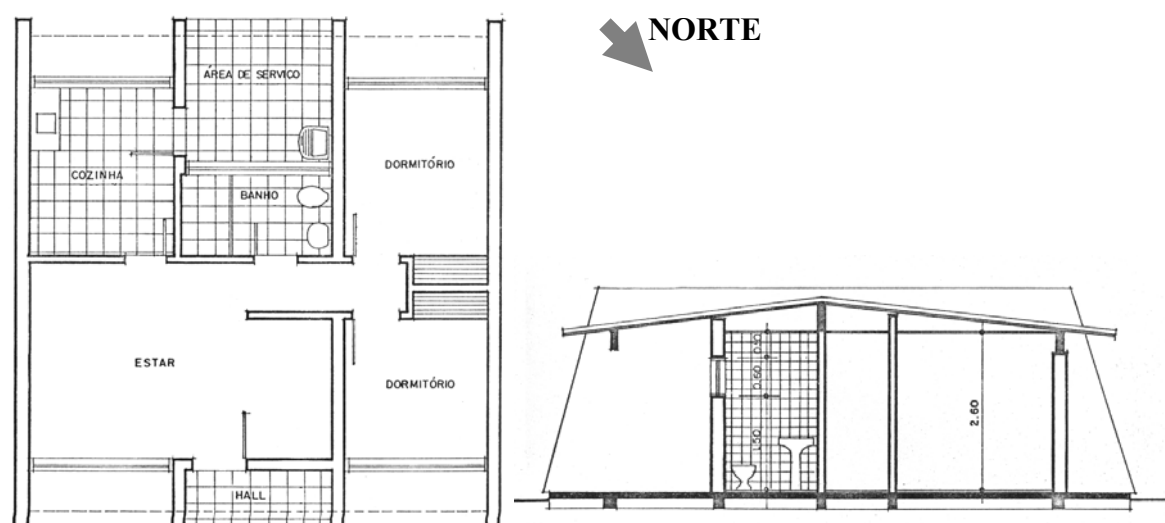


Figura 3.1. Planta baixa e corte do protótipo Aglotec. Fonte: BECKER, 1992, p. 21

Tabela 3.1. Áreas dos cômodos, total e das aberturas e suas percentagens em relação à área de piso para o protótipo Aglotec

cômodo	área (m ²)	áreas das aberturas (m ²)		características das aberturas
		nominal – útil	% piso*	
dormitório noroeste	6,90	J - 3,00 – 1,50	21,74	porta interna em madeira, oca, janela em ferro com quatro folhas de correr, sem proteção solar, cor verde escura
		PI – 1,68	-	
dormitório sudoeste	8,15	J - 3,00 – 1,50	18,40	porta interna em madeira, oca, janela em ferro com quatro folhas de correr, sem proteção solar, cor verde escura
		PI – 1,68	-	
sala de estar	16,65	J - 3,00 – 1,50	9,01	porta externa almofadada em madeira, janela em ferro com quatro folhas de correr, sem proteção solar, cor verde escura
		PE – 1,89 / PI – 5,14	-	
cozinha	7,50	J - 1,50 – 0,75	10,00	porta externa almofadada em madeira, janela em ferro tipo basculante, sem proteção solar, cor verde escura
		PE – 1,68 / PI – 1,47	-	
banheiro	3,50	J - 1,50 – 0,75	21,43	porta interna em madeira, oca, janela em ferro tipo basculante, sem proteção solar, na cor verde escura
		PI – 1,47	-	
serviço	6,25	-	-	-

* as percentagens das aberturas foram calculadas a partir das áreas úteis para ventilação (50% da área nominal)
J e PI significam janela e porta interna respectivamente

(Fonte: adaptado de BECKER, 1992, p. 17)

Tabela 3.2. Área dos fechamentos opacos verticais e horizontais do protótipo Aglotec

fechamento	área (m ²)
alvenarias	
alvenaria de tijolos sem argamassa de revestimento (e=0,23m)	11,61
alvenaria de tijolos com argamassa de revestimento interno e externo (e=0,25m)	32,23
alvenaria de tijolos com arg. de rev. interno e externo e rev. interno de cerâmica (e=0,255m)	25,09
total alvenarias	68,93
portas	
porta sala (0,80m × 2,10m)	1,68
porta cozinha (0,90m × 2,10m)	1,89

Tabela 3.2. continuação

fechamento	área (m²)
total portas	3,57
cobertura (limitado pelo perímetro interno das paredes)	
água da cobertura voltada a Nordeste	26,79
água da cobertura voltada a Sudoeste	21,95
total cobertura	48,74
pisos (área dos cômodos limitados pelo perímetro interno das paredes)	
taco de madeira	36,67
cerâmico	8,20
total pisos	44,87
volume interno da edificação = 125, 84m ³	

Tabela 3.3. Características físicas da envolvente - Aglotec

materiais e componentes	características
fundações	microestaca, blocos de 0,30m × 0,30m, com viga de baldrame
paredes	alvenaria de tijolos maciços 0,23m × 0,11m × 0,06m , assentados e rebocados nas duas faces com argamassa Aglotec, parede orientada a Nordeste com alvenaria de tijolos maciços de 0,23m × 0,11m × 0,06m aparentes, paredes de cozinha e banheiro revestidas internamente com cerâmica, paredes externamente pintadas na cor branca
cobertura	estrutura em treliça de madeira, telhas onduladas de fibrocimento de 0,006m de espessura, com cumeeira fixa sem ventilação
forro	lambri em madeira de pinho de espessura nominal de 0,005m
pisos	contrapiso em argamassa Aglotec em duas camadas com total de 0,05m, dormitórios e sala de estar revestidos de tacos de madeira de 0,07m × 0,21m, cozinha, banheiro e área de serviço revestidos com cerâmica com espessura de 0,02m
janelas	esquadrias em ferro pintado na cor verde escura, basculante no banheiro e na cozinha, de correr nos demais cômodos
portas	externas com folhas tipo almofada

(Fonte: adaptado de BECKER, 1992, p. 21)

O primeiro grupo de parâmetros térmicos, que dizem respeito às propriedades térmicas dos fechamentos ou componentes da edificação é apresentado na *tabela 3.4*.

Tabela 3.4. Parâmetros térmicos dos fechamentos do protótipo Aglotec

fechamento	resistência térmica total $R_T \left(\frac{m^2 K}{W} \right)$	transmitância térmica U $\left(\frac{W}{m^2 K} \right)$	atraso térmico $\phi \text{ (h)}$	coeficiente de amortecimento μ / capacidade térmica total $C_T \left(\frac{kJ}{m^2 K} \right)^*$	absortância α	fator de calor solar FCS (%)**
paredes						
tijolo	0,4345	2,30	5,76	0,5793 / 321,00	0,50	4,60
arg. de rev. + tijolo + arg. de rev.	0,5430	1,84	7,78	0,4786 / 395,91	0,30	2,21
arg. de rev. + tijolo + arg. de rev. + placas placa cerâmicas	0,5522	1,81	7,92	0,4724 / 400,06	0,30	2,17
esquadrias						
portas	0,3575	2,80	1,30	0,8839	0,70	7,83
janelas	0,1720	5,81			-	85,00***
vidros	0,1727	5,79			-	85,00***
caixilhos metálicos	0,1701	5,88	0,03	0,9975	0,70****	16,46
Cobertura						
inverno	0,3216	3,11	0,55	0,9493/14,65	0,50****	6,22
verão	0,4616	2,17	0,65	0,9406/14,65	0,50****	4,33
pisos						
pisos	1,1111	0,90				

*capacidade térmica total C_T apenas para paredes, para os demais elementos, vide Anexo 1

**fator de calor solar $FCS = 100 \times U \times \alpha \times R_{se}$ (ABNT, 2005b)

*** valores obtidos de BECKER (1992, p. 23)

****valores obtidos de ABNT (2005b) por não constarem em BECKER (1992)

3.1.2 Resultados obtidos para o protótipo Aglotec

De acordo com os resultados apresentados na *tabela 3.4*, o parâmetro térmico transmitância térmica máxima U de paredes satisfaz o valor recomendado pela ABNT (2005c), cujo limite é $3,60 \frac{W}{m^2 K}$. O parâmetro térmico atraso térmico máximo, φ , de paredes não satisfaz o valor recomendado, cujo limite é $4,3h$. O parâmetro térmico fator de calor solar, FCS , com valor máximo recomendado de $4,0\%$, para paredes é satisfeito, exceto para alvenaria de tijolos à vista.

A cobertura não satisfaz o valor recomendado para transmitância térmica, U (valor máximo de $2,0 \frac{W}{m^2 K}$), satisfaz o valor recomendado para o atraso térmico máximo, φ , ($3,3h$) e satisfaz o valor máximo recomendado para o fator de calor solar, FCS ($6,5\%$). De acordo com a ABNT (2004b), os fechamentos opacos verticais (paredes), para a Zona Bioclimática 3, devem possuir capacidade térmica total, C_T , igual ou superior a $130 \frac{kJ}{m^2 K}$. As paredes do protótipo *Aglotec* satisfazem este critério.

Os coeficientes volumétricos parciais e total de perda de calor, GV_i , são apresentados na *tabela 3.5* que segue.

Tabela 3.5. Coeficientes volumétricos parciais e total de perda térmica GV_i e $GV_{inverno}$ para o protótipo Aglotec

elementos	$A \times U \left(\frac{W}{K} \right)$	$GV_i = \frac{A \times U}{V} \left(\frac{W}{m^3 K} \right)$	percentagem (%)
infiltração de ar	-	0,0916	2,76
paredes de alvenaria de tijolos	131,41	1,0447	31,46
portas	10,00	0,0795	2,39
janelas sem proteção solar	69,72	0,5542	16,69
cobertura	151,58	1,2049	36,28
pisos	43,56	0,3463	10,43
	$GV_{inverno}$	3,3212	100,0

As três principais contribuições às perdas de calor pela edificação acontecem através da cobertura, com 36,3% , de paredes, com 31,5%, e através das janelas, sem proteção solar, com 16,7%.

A partir dos valores obtidos de temperatura superficial interna, t_{si} , para dos fechamentos, a possibilidade de condensação sobre os mesmos é analisada, conforme indicado na *tabela 3.6*.

Tabela 3.6. Valores de temperatura superficial interna t_{si} para o protótipo Aglotec e análise da possibilidade de condensação

fechamentos	transmitância térmica $U \left(\frac{W}{m^2 K} \right)$	$t_{si} = t_i + R_{si} \times U \times (t_e - t_i)$ (°C) $\geq t_{orvalho}$	condensação?
alvenarias			
tijolo	2,30	14,9°C \geq 13,5°C	não
arg. de rev. + tijolo + arg. de rev.	1,84	15,5°C \geq 13,5°C	não
arg. de rev. + tijolo + arg. de rev. + placas cerâmicas	1,81	15,5°C \geq 13,5°C	não
aberturas			
portas	2,80	14,2°C \geq 13,5°C	não
sem proteção opaca	5,81	10,1°C \geq 13,5°C	sim
janelas	vidro	5,79	10,1°C \geq 13,5°C
	ferro	5,88	10,0°C \geq 13,5°C
cobertura			
forro	3,11	14,7°C \geq 13,5°C	não

Considerando as condições simuladas, há problemas de condensação superficial, apenas sobre as aberturas sem proteção opaca (esquadrias em ferro).

Na a análise de assimetria de radiação térmica, ΔT_{rp} , para o protótipo *Aglotec*, para situação de inverno, são considerados dois pontos de cálculo: um ponto no cômodo sala, voltado para a parede nordeste, e um ponto no cômodo dormitório nordeste, voltado para a parede nordeste. Todos os pontos estão a 1,00m das paredes externas que contêm os fechamentos transparentes

(janelas) e a meia distância da largura destas paredes. A *tabela 3.7* apresenta os resultados para esses cômodos.

Tabela 3.7. Valores da temperatura radiante plana T_{rp} e assimetria de radiação térmica ΔT_{rp} para o protótipo Aglotec para a situação de inverno

cômodo	T_{rpA} (°C)	T_{rpB} (°C)	$\Delta T_{rp} = T_{rpA} - T_{rpB} < 14^{\circ}\text{C}$	Satisfaz?
sala (parede nordeste)	14,4	17,7	3,3	sim
dormitório nordeste (parede nordeste)	13,9	17,4	3,5	sim

Ambos os cômodos selecionados para análise da assimetria da radiação térmica, ΔT_{rp} , satisfazem as condições definidas para este requisito, considerando as paredes selecionadas para análise.

Na análise de assimetria de radiação térmica, ΔT_{rp} , para situação de verão, são considerados três pontos de cálculo: um ponto no cômodo sala voltado para a parede externa nordeste, um ponto no cômodo dormitório sudoeste, voltado para esta parede, e um ponto a $1,00m$ do piso, no centro do cômodo sala, voltado para o forro. O cômodo sala é escolhido por ser considerado ambiente de permanência prolongada no período diurno e o dormitório sudoeste é escolhido por apresentar orientação solar desfavorável na situação de verão (paredes sudoeste e noroeste). Os resultados encontrados, apresentados na *tabela 3.8*, mostram que a cobertura não satisfaz o critério relativo à assimetria da radiação térmica, ΔT_{rp} , para a situação de verão.

Tabela 3.8. Temperatura radiante plana T_{rp} e a assimetria de radiação térmica ΔT_{rp} para o protótipo Aglotec, para a situação de verão

cômodo	T_{rpA} (°C)	T_{rpB} (°C)	$\Delta T_{rp} = T_{rpA} - T_{rpB} < 14^{\circ}\text{C}$	satisfaz?
sala (parede nordeste)	35,8	33,2	2,6	sim
dormitório sudoeste (parede sudoeste)	36,1	32,3	3,8	sim

cômodo	T_{rpA} (°C)	T_{rpB} (°C)	$\Delta T_{rp} = T_{rpA} - T_{rpB} < 9^{\circ}\text{C}$	satisfaz?
sala (cobertura)	43,7	29,0	14,7	não

A *tabela 3.9* apresenta os valores de fluxo máximo de calor, $Q_{m\acute{a}x}$, para os diferentes tipos de fechamentos segundo suas orientações para o protótipo *Aglotec*, os valores de coeficientes volumétricos parciais de ganho de calor, GV_i , para estes fechamentos e a percentagem em relação ao total.

Tabela 3.9. Fluxo máximo de calor $Q_{m\acute{a}x}$ e coeficientes volumétricos parciais de ganho de calor GV_i para o protótipo *Aglotec*

fechamentos	fluxo de calor $Q_{m\acute{a}x}$ (W)	$GV_i = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{V \times (t_e - t_i)} \left(\frac{W}{m^3 K} \right)$	percentagem (%)
orientação: Noroeste			
alvenarias de tijolo	769,75	1,3597	5,83
porta	196,27	0,3467	1,49
fluxo total de calor Q a Noroeste	= 966,02	$\Sigma GV_i = 1,7064$	7,32
orientação: Nordeste			
alvenarias de tijolo	409,41	0,7232	3,10
porta	128,28	0,2266	0,97
esquadrias (vidro)	1908,04	3,3705	14,46
esquadrias (ferro)	97,92	0,1730	0,74
fluxo total de calor Q a Nordeste	2.544,05	$\Sigma GV_i = 4,4940$	19,28
orientação: Sudeste			
alvenarias de tijolo	391,53	0,6916	2,97
fluxo total de calor Q a Sudeste	391,53	$\Sigma GV_i = 0,6916$	2,97
orientação: Sudoeste			
alvenarias de tijolo	585,33	1,0340	4,44
esquadrias (vidro)	2.469,40	4,3621	18,72
esquadrias (ferro)	181,92	0,3214	1,38
fluxo total de calor Q a Sudoeste	3.236,65	$\Sigma GV_i = 5,7175$	24,53

Tabela 3.9. continuação

fechamentos	fluxo de calor Q_{\max} (W)	$GV_i = \frac{Q_{\max}}{V \times (t_e - t_i)} \left(\frac{W}{m^3 K} \right)$	percentagem (%)
orientação: superfície inclinada 8°			
cobertura	5.881,91	13,69634	44,58
fluxo total de calor Q pela cobertura	5.881,91	13,69634	44,58
orientação: horizontal			
pisos	- 174,24	0,30779	1,32
fluxo total de calor Q pelo piso	- 174,24	0,30779	1,32
fluxo total de calor através da envolvente	12.845,92	GV_{verão} = 22,6920	100,00

As três principais contribuições ao ganho de calor pela edificação são: parede nordeste, com 16,9%, parede sudoeste, com 21,5% e cobertura com 51,5%.

A *tabela 3.10* apresenta características físicas, relação massa e área e coeficientes de inércia, $coef_{inércia}$, dos fechamentos externos e as partições internas para o protótipo *Aglotec*. Para o cálculo do coeficiente de superfície pesada equivalente ou categoria de inércia, $coef_{SPE}$, é considerado o fechamento externo voltado a Sudeste, pois satisfaz a condição apresentada no *item 2.5.3.7* do *Capítulo 2* (paredes externas com orientação sudeste ou sul-sudoeste).

Tabela 3.10. Características físicas e térmicas dos fechamentos externos e das partições internas do protótipo Aglotec e coeficientes de inércia $coef_{inércia}$

fechamentos ou partições internas	área A (m ²)	massa e área (kg/m ²)	resistência térmica do revestimento interno ($\frac{m^2 K}{W}$)	coeficiente de inércia $coef_{inércia}$	SPE = A × $coef_{inércia}$ (m ²)
fechamento externo (parede sudeste)					
arg. de rev. + tijolo + arg. de rev. (0,25 m)	9,49	453,54	$\frac{0,01}{0,95} = 0,0105$	1,0	9,49
arg. de rev. + tijolo + arg. de rev. + placa cerâmica (0,255 m)	7,80	461,21	$\frac{0,005}{0,87} = 0,0057$	1,0	7,80

Tabela 3.10. continuação

fechamentos ou partições internas	área A (m ²)	massa e área (kg/m ²)	resistência térmica do revestimento interno ($\frac{m^2 K}{W}$)	coeficiente de inércia $coef_{inércia}$	SPE = A × $coef_{inércia}$ (m ²)
partições internas					
arg. de rev. + tijolo + arg. de rev. (0,25 m)	6,50	453,54	$\frac{0,01}{0,95} = 0,0105$	1,0	6,50
arg. de rev. + tijolo + arg. de rev. + placa cerâmica (0,255 m)	4,03	461,21	0,0105 ou 0,0057	1,0	4,03
arg. de rev. + tijolo + arg. de rev. (0,15 m)	13,54**	274,15	$\frac{0,02}{0,95} = 0,0211$	1,0	13,54
arg. de rev. + tijolo + arg. de rev. + placa cerâmica (0,155 m)	10,29**	283,63	0,0105 ou 0,0057	1,0	10,29
placa cerâmica + arg. de rev. + tijolo + arg. de rev. + placa cerâmica (0,16 m)	4,03**	293,14	0,0057	1,0	4,03
piso* (lajota cerâmica)	11,35**	215,00	$\frac{0,02}{0,95} = 0,0211$	1,0	11,35
piso* (taco madeira)	37,05**	191,40	$\frac{0,02}{0,14} = 0,1429$	2/3	24,70
	104,08			Σ SPE =	91,73
* considerando a área de piso delimitada pelo perímetro interno das paredes externas					
** áreas de partições e fechamentos com relação massa e área inferior a 300kg/m ² , totalizando 76,26m ² , ou 72,77% da área total de paredes					

A relação massa e área dos fechamentos externos e das partições internas é obtida através da densidade de massa, em kg/m^3 , multiplicada pela espessura do elemento. Paredes compostas por mais de uma seção ou camada têm sua densidade obtida a partir da consideração proporcional de cada material que a compõe. Quando uma partição interna possui dois revestimentos diferentes em duas faces opostas, são apresentados ambos os valores na *tabela 3.10*.

O coeficiente de superfície pesada equivalente, $coef_{SPE}$, é igual a 1,62 para o protótipo *Aglotec*. A área da edificação, A_{edif} , considera a área do piso incluindo projeção dos

fechamentos externos. A partir da *tabela 2.15*, do *Capítulo 2*, a classificação da inércia térmica da edificação é encontrada. Para o protótipo *Aglotec*, de acordo com os dados acima encontrados, a inércia térmica é classificada como *média*.

O cálculo da efusividade térmica do ambiente, ef_{amb} , é efetuado para os cômodos sala e dormitórios do protótipo *Aglotec*.

Tabela 3.11. Características físicas e térmicas das partições internas e fechamentos externos dos cômodos do protótipo *Aglotec* e sua respectiva efusividade térmica do ambiente ef_{amb}

fechamentos	área S_i (m^2)	$\lambda \times \rho \times c$ ($\frac{kJ \times W}{m^4 K^2}$)	$ef_i = \sqrt{\lambda \times \rho \times c} \left(\frac{W \times s^2}{m^2 K} \right)^{\frac{1}{2}}$	$S_i \times ef_i$
sala				
arg. de rev. + tijolo + arg. de rev.	30,90	1.900,00	1.378,40	42.589,95
tijolo	3,50	1.212,89	1.101,31	3.854,59
forro	16,65	123,20	351,00	5.844,13
piso	16,65	275,52	524,90	8.739,58
$\Sigma S_i =$	67,70		$\Sigma A \times ef_i =$	61.028,26
$ef_{amb} = \frac{\sum_i (S_i \times ef_i)}{\sum S_i} =$				901,48 $\frac{W \times s^2}{m^2 K}^{\frac{1}{2}}$
dormitório nordeste				
arg. de rev. + tijolo + arg. de rev.	20,03	1.900,00	1.378,40	27.609,45
tijolo	3,50	1.212,89	1.101,31	3.854,59
forro	6,68	123,20	351,00	2.344,67
piso	6,68	275,52	524,90	3.506,33
$\Sigma S_i =$	36,89		$\Sigma A \times ef_i =$	37.315,05
$ef_{amb} = \frac{\sum_i (S_i \times ef_i)}{\sum S_i} =$				1.011,52 $\frac{W \times s^2}{m^2 K}^{\frac{1}{2}}$

Tabela 3.11. continuação

fechamentos	área S_i (m^2)	$\frac{\lambda \times \rho \times c}{m^4 K^2}$ ($\frac{kJ \times W}{m^4 K^2}$)	$ef_i = \sqrt{\lambda \times \rho \times c} \left(\frac{W \times s^{\frac{1}{2}}}{m^2 K} \right)$	$S_i \times ef_i$
dormitório sudoeste				
arg. de rev. + tijolo + arg. de rev.	26,91	1.900,00	1.378,40	37.092,88
forro	8,31	123,20	351,00	4.359,29
piso	8,31	275,52	524,90	2.915,04
$\Sigma S_i =$	43,53		$\Sigma A \times ef_i =$	44.367,21
$ef_{amb} = \frac{\sum_i (S_i \times ef_i)}{\sum S_i} =$				1.019,47 $\frac{W \times s^{\frac{1}{2}}}{m^2 \cdot C}$

A *tabela 3.11* apresenta as áreas das superfícies que limitam os cômodos acima citados (partições internas e fechamentos externos), o produto entre a condutividade térmica, λ , a densidade de massa, ρ , e o calor específico, c , dos revestimentos internos que compõe esses ambientes, bem como a efusividade térmica, ef_i , de cada superfície, o produto da área da superfície e sua respectiva efusividade térmica e a efusividade térmica do ambiente, ef_{amb} . A

efusividade térmica média desses ambientes, ef_{amb} , é igual a $977,49 \frac{W \times s^{\frac{1}{2}}}{m^2 K}$.

A área da envolvente do protótipo *Aglotec* diz respeito aos fechamentos laterais transparentes e opacos. A *tabela 3.12* apresenta as áreas dos fechamentos do protótipo *Aglotec* por orientação solar. A partir dos dados da *tabela 3.12* é possível encontrar as taxas área de cobertura voltada a Sul ou Sudeste \times área total da cobertura, $coef_{coberturaS}$, e área da parede voltada a Norte ou Nordeste \times área da envolvente vertical, $coef_{paredeN}$. Como o protótipo não possui água de cobertura voltada para as orientações recomendadas, a água é considerada voltada a Nordeste.

Tabela 3.12. Áreas dos fechamentos do protótipo Aglotec por orientação solar

fechamentos	orientação	área (m ²)	Total (m ²)
paredes	noroeste	25,82	95,83
	nordeste	22,10	
	sudeste	25,82	
	sudoeste	22,10	
cobertura	nordeste	30,61	57,18
	sudoeste	26,58	

A tabela 3.13 apresenta os valores encontrados para o protótipo Aglotec.

Tabela 3.13. Taxas da envolvente para o protótipo Aglotec

taxa	critério	valor	satizfaz?
área da cobertura sul ou sudeste × área total da cobertura	$coef_{coberturaS} = \frac{\text{área da cobertura voltada a Sul ou Sudeste}}{\text{área total da cobertura}} \geq 0,50$	0,54	sim
área da parede norte × área da envolvente vertical	$coef_{paredeN} = \frac{\text{área da parede norte}}{\text{área da envolvente vertical}} \geq 0,25$	0,23	não

O valor mínimo para o parâmetro área da parede norte × área da envolvente vertical, proposto no método, não é satisfeito pelo protótipo.

Para a avaliação das condições de ventilação natural do protótipo Aglotec é escolhido o dormitório noroeste, considerado com uma orientação desfavorável no verão. Para as aberturas, considera-se a situação prevista em projeto, ou seja, não há previsão de uso de telas mosquiteiras e as aberturas não possuem venezianas ou similares para garantir a ventilação noturna. A velocidade do vento v_z depende da altura da cumeeira dos dois protótipos, que é igual a 3,0m. A velocidade do ar, v_{10} , é igual a 3,0m/s. Sua direção e seu sentido predominam de Leste e Sudeste. Para o protótipo Aglotec, é considerada a direção leste,

formando um ângulo de 45° com a normal à fachada do protótipo. Considerando o local de implantação como ambiente urbano, as constantes k e a assumem os valores $0,40$ e $0,25$ respectivamente. O valor da velocidade do ar v_z é então igual a $1,58\text{m/s}$.

A *tabela 3.14* apresenta os valores de v_z , ângulo de incidência do vento, θ , em graus, sobre a fachada de captação de ar, diferença de coeficientes de pressão do vento, ΔC_p , área útil de entrada do ar, A_{entrada} , área útil de saída do ar, $A_{\text{saída}}$, área intermediária, A_{inter} , área equivalente, A , diferença de altura entre janelas altas e baixas, $l_{\text{médio}}$, temperatura do ar externo, t_e , e fluxo de ar, Φ_{ar} . Os valores de fluxo de calor, $Q_{\text{ventilação}}$, também encontram-se indicados na *tabela 3.14*. As aberturas são consideradas totalmente abertas, com áreas úteis plenas para ventilação natural.

Tabela 3.14. Variáveis que definem o fluxo de ar Φ_{ar} , para o protótipo Aglotec, por ação do vento e por diferença de temperatura

ventilação natural por ação do vento								
v_z (m/s)	θ (°)	ΔC_p	$\Delta C_{p\text{corrigido}}$	área de entrada do ar A_{entrada} (m ²)	área de saída do ar $A_{\text{saída}}$ (m ²)	área intermediária do ar A_{inter} (m ²)	área equivalente A (m ²)	temperatura do ar externo t_e (°C)
1,58	45	0,9235	0,2771	3,00	3,00	4,41	1,91	27,0
fluxo de ar Φ_{ar} (m ³ /s), renovações de ar por segundo N (renovações/segundo) e fluxo de calor $Q_{\text{ventilação}}$ (W)								
$\Phi_{\text{ar}} = 0,6 \times A \times v_z \times \sqrt{\Delta C_p} = 0,6 \times 1,91 \times 1,58 \times \sqrt{0,2771} = 0,9531 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$								
$N = \frac{\Phi_{\text{ar}}}{\text{volume edificação}} = \frac{0,9531}{125,80} = 0,0076 \frac{\text{renovações}}{\text{s}} \text{ ou } 27,27 \frac{\text{renovações}}{\text{h}}$								
$Q_{\text{ventilação}} = \Phi_{\text{ar}} \times [c_{\text{ar}} \times (t_e - t_i) + \rho_{\text{ar}} \times (H_e - H_i)]$								
$Q_{\text{ventilação}} = 0,9531 \times [1.200 \times (27,0 - 29,0) + 1,2 \times (68.000 - 79.000)] = - 14.868,36 \text{ W ou } - 14,87\text{kJ/s}$								
ventilação natural por diferença de temperatura								
Os dormitórios do protótipo não apresentam possibilidade de ventilação noturna durante as horas de sono de seus ocupantes								

O sinal negativo dos valores de fluxo de calor, $Q_{ventilação}$, significa que a edificação perde calor através da ventilação.

O protótipo *Aglotec* não prevê nenhum dispositivo de uso noturno que permita que as janelas sejam mantidas abertas neste turno (não possui venezianas ou similares) o que impede que estejam abertas em horários em que os usuários estejam dormindo, por questões de segurança e privacidade. Por ação do vento, 7% da ventilação natural do protótipo *Aglotec* removem o fluxo de calor, Q , gerado pela ocupação interna.

A eficiência da ventilação natural na remoção do calor armazenado em partições internas é analisada a seguir. A quantidade de calor necessária para abaixar a temperatura das partições internas da edificação é encontrada a partir da capacidade térmica total, C_T , das mesmas. Para tanto, as áreas de cada partição interna e de suas respectivas capacidades térmicas devem ser conhecidas. Estes valores são dados na *tabela 3.15*.

Tabela 3.15. Tipos de partições internas, áreas e capacidades térmicas para o protótipo *Aglotec*

partições internas	áreas (m^2)	capacidade térmica C_T ($\frac{kJ}{m^2 K}$)	energia térmica requerida para diminuição da temperatura ($\frac{kJ}{K}$)
arg. de ver. + tijolo + arg. de ver. (0,25m)	6,50	395,91	2.573,42
arg. de ver.+ tijolo + arg. de ver. + placa cerâmica (0,255m)	4,03	395,91	1.595,52
arg. de ver.+ tijolo + arg. de ver. (0,15m)	13,54	249,88	3.383,38
arg. de ver.+ tijolo + arg. de ver.+ placa cerâmica (0,155m)	10,29	250,26	2.575,18
cerâmica + arg. de ver.+ tijolo + arg. de ver.+ placa cerâmica (0,16m)	4,03	250,64	1.010,08
		total	11.154,30kJ/K

Como exposto no *Capítulo 2, item 2.5.4*, a eficácia da ventilação natural, por ação do vento, para baixar a temperatura dessas partições em $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ em $3,0$ horas no máximo, é atingida, conforme indicado na *tabela 3.16*.

Tabela 3.16. Tempo necessário para redução da temperatura das partições internas em $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ pelo fluxo de ar promovido pela ventilação natural para o protótipo Aglotec

fluxo de calor devido ventilação natural por ação do vento $Q_{\text{ventilação}}$ (kJ/s)	energia térmica para redução da temperatura das partições internas em $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (kJ/ K)	tempo para redução de $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$
14,87	11.154,30	25min

O fluxo máximo de calor, $Q_{\text{máx}}$, através das alvenarias voltadas a Sudoeste, para o protótipo *Aglotec*, é de $585,33\text{W}$. O fluxo removido pela ventilação natural, $Q_{\text{ventilação}}$, por ação do vento ($\Phi_{\text{ar}} = 0,9531\text{m}^3/\text{s}$), para o protótipo *Aglotec*, de acordo com a *tabela 3.9*, é igual a $14.868,36\text{W}$. Desde que as aberturas do protótipo estejam totalmente abertas, há a possibilidade da remoção do fluxo máximo de calor, $Q_{\text{máx}}$, a Sudoeste.

A ventilação natural por diferença de temperatura deve remover 200W , considerados na ocupação de um dormitório na orientação solar menos favorável (Sudoeste, para o protótipo *Aglotec*). O protótipo *Aglotec* não possui a possibilidade de ventilação natural nas condições sugeridas, mas existe a possibilidade de ventilação cruzada, pois as aberturas estão em faces opostas da edificação.

3.2 Protótipo Alvorada

3.2.1 Descrição do protótipo Alvorada

As informações sobre o protótipo *Alvorada* foram obtidas de SATTLER (1999) e MORELLO (2005a, p. 60). O protótipo *Alvorada* caracteriza-se por uma construção térrea de $45,38\text{m}^2$ ($7,10\text{m} \times 6,80\text{m}$), com áreas cobertas, isolado no lote e orientado segundo o eixo Norte-Sul. A

cobertura possui duas águas voltadas para as direções Norte (menor) e Sul (maior). A fachada voltada a Oeste é sombreada após aproximadamente 17 horas no período do verão por uma árvore que se encontra junto à mesma na direção sudoeste. O interior é composto por quatro ambientes: sala de estar e cozinha conjugados, banheiro e dois dormitórios, com áreas descritas na *tabela A1.4* (MORELLO, 2005a, p. 60). A *figura 3.2* e as *tabelas 3.17, 3.18 e 3.19* descrevem as características do protótipo *Alvorada*.

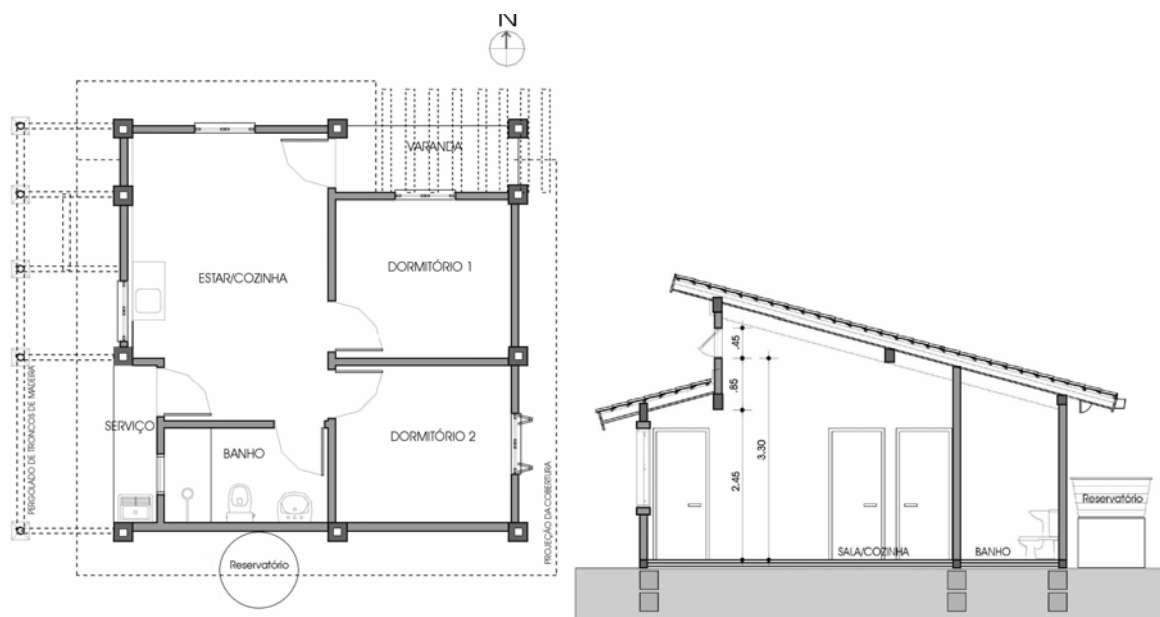


Figura 3.2. Planta baixa e corte esquemáticos do protótipo Alvorada (Fonte: MORELLO, 2005a, p. 60, 61)

Tabela 3.17. Áreas por cômodo, área total, área de aberturas e percentagens em relação à área de piso do protótipo Alvorada

cômodo	área (m ²)	aberturas		características aberturas
		área nominal – área útil (m ²)	% piso*	
dormitório leste	8,10	J - 1,20 – 0,60	7,41	porta interna em madeira, oca, janela em madeira com duas folhas tipo de correr, com venezianas, na cor natural da madeira, parede voltada a Sul com argamassa de revestimento interno e externo
		PI - 1,68 – 1,68	-	
dormitório norte	8,10	JB - 1,28** – 0,25*** JA - 0,61** – 0,18**	5,31	porta interna em madeira, oca, janela em madeira, 1/3 área fixa, com duas folhas tipo maxim-ar, na cor natural da madeira, paredes sem argamassa de revestimento
		PI - 1,68 – 1,68	-	

Tabela 3.17. continuação

cômodo	área (m ²)	aberturas		características aberturas
		área nominal – área útil (m ²)	% piso*	
sala de estar e cozinha	16,30	JB – 2,35** – 0,46*** JA – 0,61** – 0,18**	3,93	porta externa almofadada em madeira, janela baixa em madeira, 1/3 área fixa, com duas folhas tipo maxim-ar, janela alta tipo maxim-ar, sem proteção solar, paredes sem argamassa de revestimento, exceto parede oeste com argamassa de revestimento externo e com espessura diferenciada até 1,10m de altura do piso interno
		PE – 3,36 – 3,36 PI – 5,04 – 5,04	20,61 -	
banheiro	4,51	J – 0,26 – 0,08**	1,77	porta interna em madeira, oca, janela em madeira, tipo maxim-ar, na cor natural da madeira, paredes com argamassa de revestimento interno e revestimento de cerâmica até 1,50 m do piso interno, parede voltada a Sul com argamassa de revestimento externo
		PI – 1,68	-	

* as percentagens das aberturas foram calculadas a partir das áreas úteis para ventilação

** o primeiro valor corresponde à janela baixa e o segundo, à janela alta (junto à cobertura)

*** as áreas úteis das janelas tipo maxim-ar foram calculadas a partir da expressão $A_{\text{útil}} = A_{\text{nominal}} \times (1 - \cos 45^\circ)$

J, JB, JA, PE e PI significam janela, janela baixa, janela alta, porta externa e porta interna respectivamente

apenas as janelas e portas externas foram consideradas na percentagem de área de aberturas em relação à área de piso e na área total de aberturas

(Fonte: adaptado de MORELLO, 2005^a, p. 60).

Tabela 3.18. Área dos fechamentos opacos do protótipo Alvorada

Fechamento	área (m ²)
alvenarias	
alvenaria de tijolos sem argamassa de revestimento (e=0,11m)	39,81
alvenaria de tijolos com argamassa de revestimento externo (e=0,12m)	6,39
alvenaria de tijolos com argamassa de revestimento externo (e=0,23m)	3,29
alvenaria de tijolos com argamassa de revestimento interno e externo (e=0,13m)	9,95
alvenaria de tijolos com argamassa de revestimento interno (e=0,12m)	2,38
alvenaria de tijolos com arg. de rev. interno e externo e rev. Interno de cerâmica (e=0,135m)	4,20
alvenaria de tijolos com arg. de rev. interno e rev. Interno de cerâmica (e=0,125m)	2,70
total alvenarias	68,72

Tabela 3.18. continuação

fechamento	área (m²)
pilares e vigas	
pilares	8,32
vigas	6,36
total pilares e vigas	14,68
portas	
porta sala e cozinha leste (0,80m × 2,10m)	1,68
porta sala e cozinha oeste (0,80m × 2,10m)	1,68
total portas	3,36
cobertura (limitado pelo perímetro interno das paredes)	
água da cobertura voltada a Nordeste	4,05
água da cobertura voltada a Sudoeste	35,31
total cobertura	39,36
pisos (área dos cômodos limitados pelo perímetro interno das paredes)	
cerâmico	38,27
total pisos	38,27
volume interno da edificação = 146,09m ³	

Tabela 3.19. Características físicas da envolvente - Alvorada

materiais e componentes	características
fundações	camada de solo-cimento de espessura de 0,05m, lastro de brita com 0,05m de espessura, blocos de pedra grês de 0,50m × 0,25m × 0,12m, assentados com argamassa, viga de baldrame e drenagem periférica em brita
paredes	alvenaria de tijolos maciços 0,22m × 0,11m × 0,05m, assentados com argamassa, rebocados internamente na face Sul, rebocados externamente nas faces Oeste e Sul, com espessura de 0,23m na face Oeste, na sala e cozinha, até a altura de 1,10m, com revestimento cerâmico até 1,50m e argamassa de revestimento até o forro no banheiro

Tabela 3.19. continuação

materiais e componentes	características
cobertura	estrutura em viga de concreto (caibros), terças e ripas em madeira, telhas cerâmicas, com camada de lâmina de alumínio entre as ripas e caibros
forro	lambri em madeira de pinho de espessura nominal de 0,006m
pisos	solo compactado, leito de brita com espessura de 0,05m, leito de concreto magro de espessura de 0,05m, cerâmica assentada com argamassa colante, com espessura de 0,015m
janelas	esquadrias em madeira com 1/3 do vão fixo na sala e cozinha e dormitório a Norte, tipo maxim-ar, dormitório a norte e sala e cozinha com janelas altas tipo maxim-mar, dormitório a Leste com janela de correr, com venezianas
portas	externas em madeira, com folhas tipo almofada

(Fonte: adaptado de SATTLER, 1999; MORELLO, 2005a, p. 60)

O protótipo *Alvorada* apresenta as seguintes estratégias de condicionamento térmico passivo:

- a) a água da cobertura voltada a Sul (maior água) possui aberturas junto ao beiral inferior e superior com portinholas para permitir ventilação no verão e impedi-la no inverno,
- b) a parede voltada a Oeste possui argamassa de revestimento externo para aumentar sua resistência térmica, reduzindo ganhos de calor no verão,
- c) a parede voltada a Sul possui argamassa de revestimento interno e externo para aumentar sua resistência térmica diminuindo a possibilidade de haver condensações sobre a mesma no inverno,
- d) a cobertura é formada por duas águas de diferentes áreas, a maior delas voltada a Sul e a menor, a Norte, a fim de diminuir ganhos de calor no verão,
- e) a fachada voltada a Norte possui uma pérgula que permite o sombreamento parcial desta fachada no verão,
- f) a fachada voltada a Oeste possui uma pérgula que permite o sombreamento total da mesma no verão,
- g) a fachada voltada a Norte possui pé-direito duplo, com aberturas junto à cobertura para proporcionar ventilação cruzada por pressão dinâmica do vento ou por diferença de temperatura.

O primeiro grupo de parâmetros térmicos, que dizem respeito às propriedades térmicas dos fechamentos ou componentes da edificação é apresentado na *tabela 3.20*.

Tabela 3.20. Parâmetros térmicos dos fechamentos do protótipo Alvorada

fechamento	resistência térmica total $R_T \left(\frac{m^2 K}{W} \right)$	transmitância térmica U $\left(\frac{W}{m^2 K} \right)$	atraso térmico ϕ (h)	coeficiente de amortecimento μ / capacidade térmica total $C_T \left(\frac{kJ}{m^2 K} \right)^*$	absortância α	fator de calor solar FCS (%)**
alvenarias, pilares, vigas						
tijolo	0,2857	3,50	2,76	0,7702 / 171,08	0,80	11,20
arg. de rev. + tijolo (0,12m)	0,2945	3,40	3,03	0,7502 / 191,31	0,50	6,79
arg. de rev. + tijolo (0,23m)	0,4082	2,45	5,96	0,5686 / 365,64	0,50	4,90
arg. de rev. + tijolo + arg. de rev.	0,3033	3,30	3,32	0,7303 / 211,51	0,50	6,60
tijolo + arg. de rev.	0,2945	3,40	3,03	0,7503 / 191,31	0,80	10,87
arg. de rev. + tijolo + arg. de rev. + placas cerâmicas	0,3081	3,25	3,45	0,7212 / 219,86	0,50	6,49
tijolo + arg. de rev. + placas cerâmicas	0,2993	3,34	3,16	0,6258 / 199,67	0,80	10,69
pilares	0,5297	1,89	8,04	0,4668 / 467,59	0,80	6,05
vigas	0,2557	3,91	3,46	0,7195 / 360,00	0,50	7,82
esquadrias						
portas	0,2734	3,66	1,14	0,8976	0,80	11,71
janelas s/veneziana	0,1753	5,70	-	-	-	85,00***
janelas c/veneziana	0,4188	2,39	1,76	0,8461	0,80	7,65
vidro	0,1727	5,79	-	-	-	85,00***
caixilhos madeira	0,2907	3,44	1,33	0,8815	0,80	11,01

Tabela 3.20. continuação

fechamento	resistência térmica total $R_T \left(\frac{m^2 K}{W} \right)$	transmitância térmica U $\left(\frac{W}{m^2 K} \right)$	atraso térmico φ (h)	coeficiente de amortecimento μ / capacidade térmica total $C_T \left(\frac{kJ}{m^2 K} \right)^*$	absortância α	fator de calor solar FCS (%)**
cobertura						
inverno	0,6100	1,64	1,21	0,8918/40,32	0,80	5,25
verão	1,0600	0,94	1,62	0,8573/40,32	0,80	3,01
pisos						
pisos	1,1364	0,88	-	-	-	-
* capacidade térmica total C_T apenas para paredes, demais fechamentos, vide Anexo 1						
** fator de calor solar $FCS = 100 \times U \times \alpha \times R_{se}$ (ABNT, 2005b)						
*** valor obtido de TURIK (1988, p.98)						

3.2.2 Resultados obtidos para protótipo Alvorada

De acordo com os resultados apresentados na *tabela 3.20*, o parâmetro térmico transmitância térmica máxima, U , de paredes satisfaz o valor recomendado pela ABNT (2005c), cujo limite é $3,60 \frac{W}{m^2 K}$. As vigas não satisfazem este parâmetro. O parâmetro térmico atraso térmico máximo, φ , de paredes, cujo valor máximo recomendado é $4,3h$, não é satisfeito pelas paredes de $0,23m$ de espessura e pelos pilares. O parâmetro térmico fator de calor solar, FCS , com valor máximo recomendado de $4,0\%$, para paredes, não é satisfeito por nenhum dos fechamentos opacos verticais. A cobertura satisfaz o valor recomendado para transmitância térmica, U (valor máximo de $2,0 \frac{W}{m^2 K}$), satisfaz o valor recomendado para o atraso térmico máximo, φ ($3,3 h$), e satisfaz o valor máximo recomendado para o fator de calor solar, FCS ($6,5 \%$). De acordo com a ABNT (2004b), os fechamentos opacos verticais (paredes), para a Zona Bioclimática 3, devem possuir capacidade térmica total, C_T , igual ou superior a $130 \frac{kJ}{m^2 K}$, como já dito anteriormente. As paredes, pilares e vigas do protótipo *Alvorada*

satisfazem este critério. O segundo grupo de parâmetros térmicos, que se relaciona ao edifício como um todo, é calculado nos itens apresentados a seguir.

Os coeficientes volumétricos parciais de perda de calor, GV_i , dos fechamentos opacos e transparentes são especificadas por tipo de fechamento, sendo apresentados na *tabela 3.21* que segue.

Tabela 3.21. Coeficientes volumétricos parciais de perda térmica GV_i para o protótipo Alvorada e coeficiente volumétrico global de perda de calor $GV_{inverno}$

elementos	$A \times U \left(\frac{W}{K} \right)$	$GV_i = \frac{A \times U}{V} \left(\frac{W}{m^3 K} \right)$	percentagem (%)
infiltração de ar	-	0,0490	1,69
paredes de alvenaria de tijolos	232,72	1,5930	55,02
pilares	15,72	0,1076	3,72
vigas	24,87	0,1702	5,88
portas	12,30	0,0842	2,91
janelas sem veneziana	29,13	0,1994	6,89
janelas com veneziana	2,87	0,0196	0,68
cobertura	64,55	0,4419	15,26
pisos	33,68	0,2305	7,96
	$GV_{inverno}$	2,8954	100,00

As principais contribuições às perdas de calor pela edificação acontecem através das paredes, com 55,0%, e cobertura, com 15,3%. Porém, as paredes possuem uma contribuição muito mais significativa do que a cobertura.

Os valores de temperatura superficial interna, t_{si} , para os diferentes tipos de fechamentos que compõe a envolvente do protótipo *Alvorada* são indicados na *tabela 3.22*, apresentada anteriormente, bem como a análise da possibilidade de condensação sobre os fechamentos paredes, aberturas e forro.

Tabela 3.22. Valores de temperatura superficial interna t_{si} para os diferentes fechamentos que compõe a envolvente do protótipo Alvorada e sua análise comparativa com a temperatura de ponto de orvalho $t_{orvalho}$

fechamentos	transmitância térmica $U \left(\frac{W}{m^2 K} \right)$	$t_{si} = t_i - R_{si} \times U \times (t_i - t_e)$ $\geq t_{orvalho} \text{ (}^\circ\text{C)}$	condensação?
alvenarias, pilares, vigas			
tijolo	3,50	$13,2 \leq 13,5$	sim
arg. de rev. + tijolo (0,12m)	3,40	$13,4 \leq 13,5$	sim
arg. de rev. + tijolo (0,23m)	2,45	$14,7 \geq 13,5$	não
arg. de rev. + tijolo + arg. de rev.	3,30	$13,5 \geq 13,5$	não
tijolo + arg. de rev. (0,12 m)	3,40	$13,4 \leq 13,5$	sim
arg. de rev. + tijolo + arg. de rev. + placa cerâmica	3,25	$13,6 \geq 13,5$	não
tijolo + arg. de rev. + placa cerâmica	3,34	$13,4 \leq 13,5$	sim
pilares	1,89	$15,4 \geq 13,5$	não
vigas	3,91	$12,7 \leq 13,5$	sim
aberturas			
portas	3,66	$13,0 \leq 13,5$	sim
janelas	sem venezianas	$10,2 \leq 13,5$	sim
	vidro	$10,1 \leq 13,5$	sim
	madeira	$13,3 \leq 13,5$	sim
	com veneziana	$14,7 \geq 13,5$	não
	cobertura		
forro	1,64	$15,8 \geq 7,5$	não

Há problemas de condensação superficial, de acordo com as condições simuladas, sobre boa parte dos fechamentos que compõem o protótipo *Alvorada*: alvenarias (paredes), com exceção

daquela que possui $0,23m$ de espessura, sobre vigas de concreto, portas e janelas sem veneziana.

Na análise da assimetria da radiação térmica, ΔT_{rp} , para o protótipo *Alvorada*, para a situação de inverno, são considerados dois pontos de cálculo: um ponto no cômodo dormitório frontal, voltado para a parede norte, e um ponto no cômodo sala-cozinha, voltado para a parede norte. O dormitório norte é escolhido em função de suas aberturas não possuírem proteções opacas para fechamento das mesmas. O cômodo sala-cozinha é escolhido por ser considerado um ambiente de permanência prolongada no período diurno e parte do período noturno.

A *tabela 3.23* apresenta os valores da temperatura radiante plana, T_{rp} , para os dois lados opostos do elemento plano infinitesimal e a assimetria da radiação térmica, ΔT_{rp} , encontrados para o protótipo *Alvorada*. Para as janelas é considerada a temperatura superficial interna, t_{si} , obtida a partir da ponderação das áreas das superfícies em madeira e em vidro, para fins de simplificação da análise.

Tabela 3.23. Valores da temperatura radiante plana T_{rp} e assimetria de radiação térmica ΔT_{rp} para o protótipo *Alvorada* para a situação de inverno

cômodo	$T_{rp\ A}$ (°C)	$T_{rp\ B}$ (°C)	$\Delta T_{rp} = T_{rpA} - T_{rpB} < 14^{\circ}C$	Satisfaz?
dormitório norte (parede norte)	14,2	17,1	2,9	sim
sala e cozinha (parede norte)	13,1	15,3	2,2	sim

Ambos os cômodos satisfazem as condições definidas para o requisito relativo à assimetria da radiação térmica, ΔT_{rp} , para a situação de inverno.

Na análise da assimetria da radiação térmica, ΔT_{rp} , para o protótipo *Alvorada*, para a situação de verão, são considerados dois pontos: um ponto no cômodo sala e cozinha, voltado para a parede oeste, e um ponto a $1,00m$ do piso, no centro do cômodo sala e cozinha, voltado para o forro. O cômodo sala-cozinha é escolhido por apresentar orientação solar desfavorável na situação de verão, ou seja, parede voltada a Oeste. Os resultados obtidos estão na *tabela 3.24*.

Tabela 3.24. Valores da temperatura radiante plana T_{rp} e assimetria de radiação térmica ΔT_{rp} para o protótipo Alvorada para a situação de verão

cômodo	T_{rpA} (°C)	T_{rpB} (°C)	$\Delta T_{rp} = T_{rpA} - T_{rpB} < 14^\circ\text{C}$	Satisfaz?
sala e cozinha (parede oeste)	41,9	38,9	3,0	sim

cômodo	T_{rpA} (°C)	T_{rpB} (°C)	$\Delta T_{rp} = T_{rpA} - T_{rpB} < 9^\circ\text{C}$	Satisfaz?
cobertura sala e cozinha	45,8	29,8	16,0	não

De acordo com os resultados, o forro (cobertura) do cômodo sala e cozinha não satisfaz o critério para o requisito à assimetria da radiação térmica, ΔT_{rp} , para a situação de verão.

A tabela 3.25 apresenta os fluxos máximos de calor, $Q_{máx}$, para os diferentes fechamentos do protótipo *Alvorada* e os respectivos coeficientes volumétricos parciais de ganho de calor, GV_i .

Tabela 3.25. Fluxo máximo de calor $Q_{máx}$ e coeficientes volumétricos parciais de ganho de calor GV_i para o protótipo Alvorada

fechamentos	fluxo de calor $Q_{máx}$ (W)	$GV_i = \frac{Q_{máx}}{V \times (t_e - t_i)} \left(\frac{W}{m^3 K} \right)$	percentagem (%)
orientação: Oeste			
alvenarias de tijolo	1.741,27	2,6487	13,60
pilares	380,00	0,5780	2,97
vigas	99,59	0,1515	0,78
esquadrias (vidro)	419,61	0,6383	3,28
esquadrias (madeira)	404,98	0,6160	3,16
fluxo total de calor Q a Oeste	= 3.045,45	$\Sigma GV_i = 4,6325$	23,79
orientação: Norte			
alvenarias de tijolo	903,62	1,3745	7,06
pilares	39,74	0,0604	0,31
vigas	71,07	0,1081	0,56

Tabela 3.25. continuação

fechamentos	fluxo de calor $Q_{\text{máx}}$ (W)	$GV_i = \frac{Q_{\text{máx}}}{V \times (t_e - t_i)} \left(\frac{W}{m^3 K} \right)$	percentagem (%)
orientação: Norte (cont.)			
esquadrias (vidro)	378,02	0,5750	2,96
esquadrias (madeira)	129,53	0,1576	0,81
fluxo total de calor Q a Norte	= 1.521,98	$\Sigma GV_i = 2,3151$	11,89
orientação: Leste			
alvenarias de tijolo	1.613,41	2,4542	12,60
pilares	139,56	0,2123	1,09
vigas	101,15	0,1539	0,79
porta	192,62	0,2930	1,50
janela dormitório (veneziana)	114,15	0,1736	0,89
fluxo total de calor Q a Leste	= 2.160,89	$\Sigma GV_i = 3,2870$	16,88
orientação: Sul			
alvenarias de tijolo	630,01	0,9583	4,92
pilares	65,31	0,0993	0,51
vigas	62,88	0,0956	0,49
fluxo total de calor Q a Sul	= 758,20	$\Sigma GV_i = 1,1532$	5,92
orientação: superfície inclinada 15°			
cobertura	5.451,37	8,2923	42,58
fluxo total de calor Q pela cobertura	= 5.451,37	$\Sigma GV_i = 8,2923$	42,58
orientação: horizontal			
pisos	- 134,71	- 0,2049	1,05
fluxo total de calor Q pelo piso	- 134,71	$\Sigma GV_i = - 0,2049$	1,05
fluxo total de calor através da envolvente	= 12.803,18	$GV_{\text{verão}} = 19,4754$	100,00

As três principais contribuições ao ganho de calor pela edificação são: cobertura, com 42,6%, parede oeste, com 23,8%, e parede leste, com 16,9%.

Para a análise do coeficiente de superfície pesada equivalente ou categoria de inércia, $coef_{SPE}$, do protótipo *Alvorada*, é considerada a parede voltada a Sul como fechamento externo abrigado da radiação solar direta. A relação massa e área dos fechamentos externos e das partições internas é obtida através da densidade de massa, em kg/m^3 , multiplicada pela espessura do elemento. Paredes compostas por mais de uma seção ou camada têm sua densidade obtida a partir da consideração proporcional de cada material que a compõe. A *tabela 3.26* apresenta os fechamentos externos e as partições internas considerados, suas características físicas, relação massa e área e seus respectivos coeficientes de inércia, $coef_{inércia}$ (obtidos da *tabela 2.14*, do *Capítulo 2*). Quando uma partição interna possui dois revestimentos diferentes em duas faces opostas, são apresentados ambos os valores na *tabela 3.26*.

Tabela 3.26. Características físicas, relação massa e área dos fechamentos externos e das partições internas do protótipo Alvorada e seus respectivos coeficientes de inércia $coef_{inércia}$

fechamentos ou partições internas	área A (m^2)	massa e área (kg/m^2)	resistência térmica do revestimento interno ($\frac{m^2 K}{W}$)	coeficiente de inércia $coef_{inércia}$	SPE = $A \times coef_{inércia}$ (m^2)
fechamento externo (parede sul)					
arg. de ver. + tijolo + arg. de ver.	9,67**	216,42	$\frac{0,01}{1,15} = 0,0087$	1,0	9,67
arg. de ver. + tijolo + arg. de ver. + placa cerâmica	4,05**	225,46	$\frac{0,005}{1,05} = 0,0048$	1,0	4,05
pilares (ver. Interno = alvenaria tijolos)	2,29	488,36	0,1157	1,0	2,29
viga (ver. Interno = viga)	1,70	360,00	0,0857	1,0	1,70

Tabela 3.26. continuação

fechamentos ou partições internas	área A (m ²)	massa e área (kg/m ²)	resistência térmica do revestimento interno ($\frac{m^2 K}{W}$)	coeficiente de inércia $coef_{inércia}$	SPE = A × $coef_{inércia}$ (m ²)
partições internas					
tijolo	19,73**	180,46	0,1157	2/3	13,15
tijolo + arg. de rev.	4,00**	198,46	0,1157 ou 0,0048	2/3	2,67
tijolo+ arg. de rev. + placa cerâmica	3,00**	207,46	0,1157 ou 0,0048	1,0	3,00
vigas	1,55	360,00	0,0857	1,0	1,55
piso* (rev. interno cerâmica)	38,27**	258,00	$\frac{0,015}{1,05} = 0,0143$	1,0	38,27
	84,26			Σ SPE =	76,35

* considerando a área de piso delimitada pelo perímetro interno das paredes externas

** áreas de partições e fechamentos com relação massa e área inferior a 300kg/m², totalizando 78,72m², ou 93,43% da área total de paredes

O coeficiente de superfície pesada equivalente, $coef_{SPE}$, é igual a 1,85.

A área da edificação, A_{edif} , considera a área do piso incluindo projeção dos fechamentos externos. A partir da *tabela 2.15*, do *Capítulo 2*, a classificação da inércia térmica da edificação é encontrada. Para o protótipo *Alvorada*, de acordo com os dados acima encontrados, a inércia térmica é classificada como *média*.

O cálculo da efusividade térmica do ambiente, ef_{amb} , é efetuado para os cômodos sala-cozinha e dormitórios. A *tabela 3.27* apresenta as áreas das superfícies que limitam os cômodos acima citados (partições internas e fechamentos externos), o produto entre a condutividade térmica, λ , a densidade de massa, ρ , e o calor específico, c , dos revestimentos internos que compõem esses ambientes, bem como a efusividade térmica, ef_i , de cada superfície, o produto da área da superfície e sua respectiva efusividade térmica e a efusividade térmica do ambiente, ef_{amb} .

A efusividade térmica média desses ambientes, ef_{amb} , é igual a $1.117,40 \frac{W \times s^{\frac{1}{2}}}{m^2 K}$.

Tabela 3.27. Características físicas das partições internas e fechamentos externos dos cômodos do protótipo Alvorada e sua respectiva efusividade térmica do ambiente ef_{amb}

fechamentos	área S_i (m^2)	$\lambda \times \rho \times c$ ($\frac{kJ \times W}{m^4 K^2}$)	$ef_i = \sqrt{\lambda \times \rho \times c} \left(\frac{W \times s^2}{m^2 K} \right)$	$S_i \times ef_i$
sala e cozinha				
tijolo	31,49	1.449,50	1.203,95	37.909,74
arg. de ver. + tijolo (0,12m)	6,39	1.449,50	1.203,95	7.693,25
arg. de ver. + tijolo (0,23m)	3,29	1.449,50	1.203,95	3.961,00
pilares	5,21	1.449,50	1.203,95	6.272,59
vigas	4,99	4.200,00	2.049,39	6.579,99
forro	17,65	120,60	347,28	6.129,41
piso	16,30	1,738,80	1.318,64	21.493,76
$\Sigma S_i =$	85,32		$\Sigma A \times ef_i =$	90.039,74
$ef_{amb} = \frac{\sum_i (S_i \times ef_i)}{\sum S_i} =$				$1.055,32 \frac{W \times s^2}{m^2 K}$
dormitório norte				
tijolo	37,96	1.449,50	1.203,95	45.700,63
pilares	1,70	1.449,50	1.203,95	2.040,82
vigas	3,00	4.200,00	2.049,39	6.148,17
forro	9,00	120,60	347,28	3.125,48
piso	8,10	1,738,80	1.318,64	10.680,95
$\Sigma S_i =$	59,75		$\Sigma A \times ef_i =$	67.696,04
$ef_{amb} = \frac{\sum_i (S_i \times ef_i)}{\sum S_i} =$				$1.132,91 \frac{W \times s^2}{m^2 K}$

Tabela 3.27. continuação

fechamentos	área S_i (m^2)	$\frac{\lambda \times \rho \times c}{\left(\frac{kJ \times W}{m^4 K^2}\right)}$	$ef_i = \sqrt{\lambda \times \rho \times c} \left(\frac{W \times s^{\frac{1}{2}}}{m^2 K}\right)$	$S_i \times ef_i$
dormitório leste				
tijolo	23,47	1.449,50	1.203,95	28.258,43
arg. de rev. + tijolo + arg. de rev.	7,06	2.300,00	1.516,58	10.670,32
pilares	0,56	1.449,50	1.203,95	672,77
vigas	3,00	4.200,00	2.049,39	6.148,17
forro	9,00	120,60	347,28	3.125,48
piso	8,10	1.738,80	1.318,64	10.680,95
$\Sigma S_i =$	51,17		$\Sigma A \times ef_i =$	59.556,12
$ef_{amb} = \frac{\sum_i (S_i \times ef_i)}{\sum S_i} =$				1.163,98 $\frac{W \times s^{\frac{1}{2}}}{m^2 K}$

A tabela 3.28 apresenta as áreas dos fechamentos do protótipo *Alvorada* por orientação solar.

Tabela 3.28. Áreas dos fechamentos do protótipo Alvorada

fechamentos	orientação	área (m^2)	total (m^2)
parede	oeste	24,35	74,51
	norte	27,25	
	leste	20,26	
	sul	17,19	
cobertura*	norte	5,06	43,66
	sul	38,60	

* a área da cobertura é considerada em verdadeira grandeza e limitada pelo perímetro externo das paredes

A partir dos dados da *tabela 3.28*, é possível encontrar as taxas área da cobertura sul \times área da cobertura, $coef_{coberturaS}$, e área da parede norte \times área da envolvente, $coef_{paredeN}$. A *tabela 3.29* apresenta os valores encontrados para o protótipo *Alvorada*.

Tabela 3.29. Taxas da envolvente para o protótipo Alvorada

taxa	critério	valor	satizfaz?
área da cobertura sul ou sudeste \times área total da cobertura	$coef_{coberturaS} = \frac{\text{área da cobertura voltada a Sul ou Sudeste}}{\text{área total da cobertura}} \geq 0,50$	0,88	sim
área da parede norte \times área da envolvente vertical	$coef_{paredeN} = \frac{\text{área da parede norte}}{\text{área da envolvente vertical}} \geq 0,25$	0,37	sim

A eficiência da ventilação cruzada e da ventilação por diferença de temperatura é analisada para um dormitório considerado com orientação solar menos favorável (dormitório norte). Para as aberturas, considera-se a situação prevista em projeto para os dois protótipos, ou seja, sem telas mosquiteiras e apenas uma das aberturas do protótipo *Alvorada* contém venezianas.

A velocidade do vento, v_z , depende da altura da cumeeira que é igual a $5,0m$ para o protótipo *Alvorada*. A velocidade do ar, v_{10} , é igual a $3,0 m/s$. Sua direção e seu sentido predominam de Leste e Sudeste. Para o protótipo *Alvorada*, a direção leste é considerada, mais favorável para a configuração das aberturas. Esta direção forma um ângulo de 0° com a normal à fachada deste protótipo. Para o protótipo *Alvorada*, considerado inserido em zona urbana, as constantes k e a são iguais aos valores assumidos para o protótipo *Aglotec*. A velocidade do ar, v_z , é igual a $1,79m/s$.

A *tabela 3.30* apresenta os valores de v_z , ângulo de incidência do vento, θ , em graus, sobre a fachada de captação de ar, diferença de coeficientes de pressão do vento, ΔC_p , área útil de entrada do ar, $A_{entrada}$, área útil de saída do ar, $A_{saída}$, área intermediária, A_{inter} , área equivalente, A , diferença de altura entre janelas altas e baixas, $l_{médio}$, temperatura do ar externo, t_e , e fluxo de ar, Φ_{ar} .

Tabela 3.30. Variáveis que definem o fluxo de ar Φ_{ar} , para o protótipo Alvorada, por ação do vento e por diferença de temperatura

ventilação natural por ação do vento								
v_z (m/s)	θ (°)	ΔC_P	$\Delta C_{P\text{corrigido}}$	área de entrada do ar A_{entrada} (m ²)	área de saída do ar $A_{\text{saída}}$ (m ²)	área intermediária do ar A_{inter} (m ²)	área equivalente A (m ²)	temperatura do ar externo t_e (°C)
1,79	0	1,7470	0,5241	0,60	1,20	3,36	0,53	27,0
fluxo de ar Φ_{ar} (m ³ /s), renovações de ar por segundo N (renovações/segundo) e fluxo de calor $Q_{\text{ventilação}}$ (W)								
$\Phi_{ar} = 0,6 \times A \times v_z \times \sqrt{\Delta C_P} = 0,6 \times 0,53 \times 1,79 \times \sqrt{0,5241} = 0,4121 \frac{m^3}{s}$								
$N = \frac{\Phi_{ar}}{\text{volume edificação}} = \frac{0,2600}{146,09} = 0,0028 \frac{\text{renovações}}{s} \text{ ou } 10,15 \frac{\text{renovações}}{h}$								
$Q_{\text{ventilação}} = \Phi_{ar} \times [c_{ar} \times (t_e - t_i) + \rho_{ar} \times (H_e - H_i)]$								
$Q_{\text{ventilação}} = 0,4121 \times [1.200 \times (27,0 - 29,0) + 1,2 \times (68.000 - 79.000)] = - 6.428,53 \text{ W ou } - 6,43 \text{ kJ/s}$								
ventilação natural por diferença de temperatura								
v_z (m/s)	θ (°)	ΔC_P	$\Delta C_{P\text{corrigido}}$	área da janela alta A_1 (m ²)	área da janela baixa A_2 (m ²)	área útil A_{12} (m ²)	temperatura do ar externo t_e (°C)	
1,79	0	1,7470	0,5241	0,18	0,30	0,22	24,0	
fluxo de ar Φ_{ar} (m ³ /s), renovações de ar por segundo N (renovações/segundo) e fluxo de calor $Q_{\text{ventilação}}$ (W)								
$A_{\text{útil12}} = (A_1 + A_2) \times \frac{A_1}{A_2} \times \frac{\sqrt{2}}{(1 + \frac{A_1}{A_2}) \times [1 + (\frac{A_1}{A_2})^2]^{1/2}} = 0,43 \times 0,72 \times \frac{\sqrt{2}}{(1 + 0,72) \times \sqrt{1 + 0,72^2}} = 0,17 m^2$								
$\Phi_{ar} = 0,6 \times A_{\text{útil12}} \times \frac{19,6 \times (t_i - t_e) \times l_{\text{médio}}}{t_i + t_e} = 0,6 \times 0,17 \times \frac{19,6 \times (29,0 - 24,0) \times 2,03}{29,0 + 24,0} = 0,3770 \frac{m^3}{s}$								
$N = \frac{\Phi_{ar}}{\text{volume edificação}} = \frac{0,3770}{146,09} = 0,0026 \frac{\text{renovações}}{s} \text{ ou } 9,29 \frac{\text{renovações}}{h}$								
$Q_{\text{ventilação}} = \Phi_{ar} \times [c_{ar} \times (t_e - t_i) + \rho_{ar} \times (H_e - H_i)]$								
$Q_{\text{ventilação}} = 0,3770 \times [1.200 \times (24,0 - 29,0) + 1,2 \times (66.000 - 79.000)] = - 8.143,2 \text{ W ou } - 8,1 \text{ kJ/s}$								

Os valores de fluxo de calor, $Q_{\text{ventilação}}$, também se encontram indicados na *tabela 3.30*. As aberturas são consideradas totalmente abertas, com áreas úteis plenas para ventilação natural.

O protótipo *Aglotec*, por possuir aberturas (janelas) com vãos úteis para ventilação maiores apresenta maior potencial para remoção de calor através da ventilação natural, quando suas aberturas podem estar plenamente abertas. No entanto, o projeto não prevê nenhum dispositivo de uso noturno que permita que as janelas sejam mantidas abertas neste turno (não possui venezianas ou similares) o que impede que estejam abertas em horários em que os usuários estejam dormindo, por questões de segurança e privacidade. O mesmo acontece com o protótipo *Alvorada*, que possui venezianas apenas no dormitório leste. O dormitório norte, avaliado acima, possui grades e suas janelas são do tipo máximo-ar, podendo ser mantidas abertas durante a madrugada, logo sua configuração é mais favorável do que a do protótipo *Aglotec*. De acordo com os resultados, a ventilação natural pode pelo menos remover o calor gerado pela ocupação do protótipo. Aproximadamente 16% da ventilação por ação do vento removem o fluxo de calor, Q , gerado pela ocupação do protótipo *Alvorada*.

A eficiência da ventilação natural na remoção do calor armazenado em partições internas é analisada a seguir. Para tanto, as áreas de cada partição interna e de suas respectivas capacidades térmicas devem ser conhecidas. Estes valores são dados na *tabela 3.31*.

Tabela 3.31. Tipos de partições internas, áreas e capacidades térmicas para o protótipo Alvorada

partições internas	áreas (m ²)	capacidade térmica $C_T \left(\frac{kJ}{m^2 K} \right)$	energia térmica requerida para diminuição da temperatura $\left(\frac{kJ}{K} \right)$
tijolo (0,11m)	19,73	171,04	3.374,62
tijolo + placa cerâmica (0,115m)	3,00	199,67	599,01
tijolo + arg. de ver. (0,12m)	4,00	191,31	765,24
vigas	1,55	360,00	558,00
total			5.296,87kJ/K

Como exposto no *Capítulo 2, item 2.5.4*, a eficácia da ventilação natural, por ação do vento, para baixar a temperatura dessas partições em $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ em $3,0$ horas no máximo, é analisada. Supondo que o fluxo de ar promovido pela ventilação natural, inicialmente a uma temperatura de $27,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, entre em contato com as partições internas elevando sua temperatura em $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ às custas do fluxo de calor das partições internas, para a redução da temperatura destas partições em $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ é necessário, para o protótipo *Alvorada*, o tempo indicado na *tabela 3.32*.

Tabela 3.32. Tempo necessário para redução da temperatura das partições internas em $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ pelo fluxo de ar promovido pela ventilação natural para o protótipo *Alvorada*

fluxo de calor devido ventilação natural por ação do vento $Q_{\text{ventilação}}$ (kJ/s)	energia térmica para redução da temperatura das partições internas em $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (kJ/ K)	tempo para redução de $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$
6,43	5.296,57	28min

A seguir, verifica-se se a ventilação natural por ação do vento remove o maior fluxo máximo de calor, $Q_{\text{máx}}$, que atravessa a parede voltada a Oeste, para o protótipo *Alvorada*. O fluxo máximo de calor, $Q_{\text{máx}}$, através das alvenarias voltadas a Oeste é de $1.741,27\text{W}$. O fluxo removido pela ventilação natural, $Q_{\text{ventilação}}$, por ação do vento ($\Phi_{\text{ar}} = 0,4121\text{m}^3/\text{s}$), é igual a $6.428,53\text{W}$. Desde que as aberturas do protótipo estejam totalmente abertas, há a possibilidade da remoção do fluxo máximo de calor, $Q_{\text{máx}}$, a Oeste.

A ventilação natural por diferença de temperatura deve remover 200W , considerados na ocupação de um dormitório na orientação solar menos favorável é satisfeito pelo protótipo *Alvorada*.

Em relação à posição das aberturas sobre as fachadas, embora as janelas altas tenham a função de explorar a ventilação cruzada, a não existência de aberturas sobre a parede oposta à fachada que as contém no mesmo cômodo (situação do dormitório norte) dificulta ou impede a ventilação cruzada. Além disso, o protótipo *Alvorada* não possui aberturas significativas na direção de incidência dos ventos de verão. Quanto à ventilação por diferença de temperatura, não se considera a ação conjunta da ventilação natural por ação do vento e por diferença de temperatura. Cuidado deve ser tomado para que uma não anule ou diminua o efeito da outra, o

que pode acontecer, dependendo da direção do vento e da posição relativa das aberturas altas e baixas.

Ao se analisar os resultados obtidos para os protótipos *Aglotec* e *Alvorada*, em relação à ventilação natural, mesmo promovendo um fluxo de ar bem menor do que o protótipo *Aglotec*, o protótipo *Alvorada* possui partições internas com menor capacidade térmica total, C_T , o que faz com que a energia térmica nelas acumulada seja removida em um tempo aproximadamente igual ao tempo necessário para a remoção de energia térmica das partições internas do protótipo *Aglotec*.

3.3 Projetos-referência 1 e 2

Os *projetos-referência 1 e 2* foram indicados pelos agentes ligados ao setor da construção civil atuando em Porto Alegre no projeto, execução, financiamento e fiscalização de habitações de interesse social como referências para a prática aconselhável e não aconselhável de acordo com a experiência dos entrevistados. Os projetos não indicam a orientação solar da implantação. Sendo assim, adota-se a orientação solar de cômodos que melhor explora esse recurso. Em relação ao projeto considerado desfavorável do ponto de vista do desempenho térmico, como não houve a indicação de um projeto propriamente dito, mas prescrições para a envolvente da edificação, adota-se a mesma compartimentação para ambos os projetos, modificando-se apenas as características de sua envolvente.

3.3.1 Descrição dos projetos-referência 1 e 2

A *figura 3.3* ilustra o *projeto-referência 1*, apresentando sua planta baixa e corte. A *tabela 3.33* apresenta a descrição física dos fechamentos opacos (paredes, cobertura, piso e portas) e transparentes do *projeto-referência 1*.

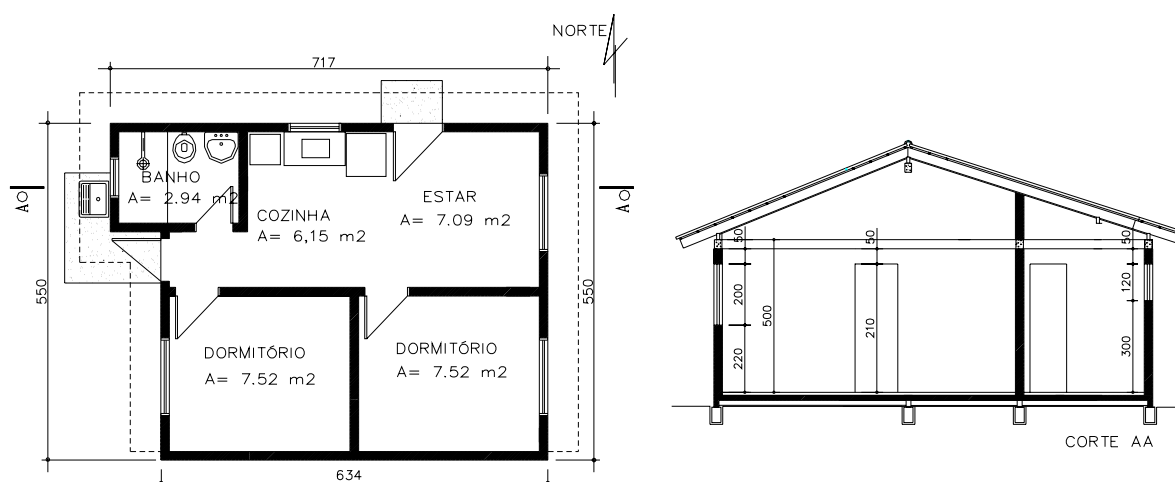


Figura 3.3. Planta baixa e corte do projeto-referência-1 (obtido junto ao órgão público consultado)

Tabela 3.33. Descrição física das paredes, cobertura e pisos do projeto-referência 1

fechamentos	características físicas
paredes externas	<ul style="list-style-type: none"> tijolos furados ($0,225\text{m} \times 0,125\text{m} \times 0,063\text{m}$, com dois orifícios horizontais), com argamassa de revestimento externo e argamassa de assentamento de espessura $0,015\text{m}$ argamassa de revestimento interno nas paredes hidráulicas até $1,50\text{m}$ de altura (box chuveiro e pia cozinha) revestimento em placas cerâmicas no box chuveiro cor clara
paredes internas	<ul style="list-style-type: none"> tijolos maciços, furados ou blocos cerâmicos, com argamassa de assentamento de espessura $0,015\text{m}$
cobertura	<ul style="list-style-type: none"> telha de fibrocimento de $0,005\text{m}$ forro em madeira acompanhando a inclinação da cobertura com $0,01\text{m}$ de espessura
piso	<ul style="list-style-type: none"> contrapiso com $0,05\text{m}$ de brita e $0,07\text{m}$ de concreto argamassa de regularização $0,02\text{m}$
portas	<ul style="list-style-type: none"> chapa metálica com $0,0012\text{m}$ com postigo basculante de $0,70\text{m} \times 0,90\text{m}$ de vidro canelado $0,003\text{m}$ pintura antiferrugem escura
janelas	<ul style="list-style-type: none"> de correr, chapa metálica com $0,0012\text{m}$ com veneziana e vidro $0,003\text{m}$ tipo basculante, chapa metálica $0,005\text{m}$ com vidro $0,003\text{m}$ pintura antiferrugem escura

O memorial descritivo do projeto permite variações de solução, tais como tijolos maciços ou blocos de concreto e telhas cerâmicas, conforme os recursos disponíveis. Para a análise,

dentre as possibilidades, são selecionados os materiais julgados mais comuns na execução deste tipo de habitação.

A *tabela 3.34* apresenta a descrição de áreas nominais e úteis das esquadrias, bem como sua relação com as áreas de piso dos cômodos. A *tabela 3.35* apresenta os parâmetros térmicos dos fechamentos do *projeto-referência 1*.

Tabela 3.34. Áreas nominais e úteis das esquadrias do projeto-referência 1 e a sua relação com a área de piso dos cômodos

cômodo	área (m ²)	aberturas		características das aberturas
		área nominal – área útil (m ²)	% piso*	
dormitório leste	7,52	J - 1,20 – 0,60 PI – 1,47	7,98	porta interna em madeira, oca, janela em ferro com duas folhas de correr e duas folhas fixas 1,20m × 1,00m, cor escura
dormitório oeste	7,52	J - 1,20 – 0,60 PI – 1,47	7,98	porta interna em madeira, oca, janela em ferro com duas folhas de correr e duas folhas fixas fixas 1,20m × 1,00m, cor escura
sala e cozinha	12,89	J1 1,20 – 0,60 J2 0,64 – 0,19 PE1 0,63 – 0,18 PE2 0,63 – 0,18	8,92	portas externas em ferro fixas 0,80m × 2,10m e 0,70m × 2,10m, com postigos tipo basculante de 0,70m × 0,90m; janela em ferro com duas folhas de correr e duas folhas fixas 1,20m × 1,00m; janela em ferro tipo basculante 0,80m × 0,80m, cor escura
banheiro	2,94	J 0,36 – 0,11 PI – 1,26	3,74	porta interna em madeira, oca, janela em ferro tipo basculante 0,60m × 0,60m, cor escura

* as percentagens das aberturas não incluem as portas internas

Tabela 3.35. Parâmetros térmicos dos fechamentos do projeto-referência 1

fechamento	resistência térmica total R_T ($\frac{m^2 K}{W}$)	transmitância térmica U ($\frac{W}{m^2 K}$)	atraso térmico ϕ (h)	coeficiente de amortecimento μ / capacidade térmica total C_T ($\frac{kJ}{m^2 K}$)*	absortância α	fator de calor solar FCS (%)	
paredes							
arg. de rev. + tijolo	0,3433	2,91	3,39	0,7250 / 184,04	0,30	3,49	
arg. de rev. + tijolo + arg. de rev.	0,3537	2,83	3,73	0,7019 / 206,14	0,30	3,40	
arg. de rev. + tijolo + arg. de rev. + placas cerâmicas	0,3601	2,78	3,89	0,6920 / 214,17	0,30	3,34	
concreto	0,2271	4,40	2,22	0,8106 / 220,00	0,30	5,28	
argamassa	0,2570	3,89	2,61	0,7809 / 200,00	0,30	4,67	
esquadrias							
portas	ferro (chapa)	0,1700	5,88	0,01	0,9990	0,70	16,46
	ferro (báscula)	0,3101	3,23	0,98	0,9132	0,70	9,04
	vidro	0,1727	5,79	-	-	-	85,00
janelas básculas	ferro	0,3101	3,23	0,98	0,9132	0,70	9,04
	vidro	0,1727	5,79	-	-	-	85,00
janelas venez.	venez.	0,1700	5,88	0,01	0,9990	0,70	16,46
	venez. + vidro	0,3873	2,58	1,04	0,9064	0,70	7,22
cobertura							
inverno	0,3567	2,80	1,14	0,8980	0,50	5,60	
verão	0,4967	2,01	1,31	0,8836	0,50	4,02	
pisos							
pisos	1,1100	0,90					

A *figura 3.3* também ilustra o *projeto-referência 2*, já que apenas as características físicas das paredes e cobertura é modificada. A *tabela 3.36* apresenta a descrição física dos fechamentos opacos (paredes, cobertura, piso e portas) e transparentes do *projeto-referência 2*.

Tabela 3.36. Descrição física das paredes e cobertura do projeto-referência 2

fechamentos	características físicas
paredes externas	<ul style="list-style-type: none"> • parede em placas de concreto maciço pré-moldadas, espessura 0,005m • cor clara
paredes internas	<ul style="list-style-type: none"> • parede em placas de concreto maciço pré-moldadas, espessura 0,005m
cobertura	<ul style="list-style-type: none"> • telha fibrocimento, espessura 0,005m • forro em madeira acompanhando a inclinação da cobertura com 0,005m de espessura

Piso, portas, janelas, áreas nominais e úteis das esquadrias do *projeto-referência 2* são as mesmas do *projeto-referência 1* (vide *tabelas 3.33* e *3.34*).

A *tabela 3.37* apresenta os valores encontrados para as propriedades térmicas dos fechamentos ou componentes do *projeto-referência 2*.

Tabela 3.37. Parâmetros térmicos dos fechamentos do projeto-referência 2

fechamento	resistência térmica total $R_T (\frac{m^2 K}{W})$	transmitância térmica U $(\frac{W}{m^2 K})$	atraso térmico ϕ (h)	coeficiente de amortecimento μ / capacidade térmica total $C_T (\frac{kJ}{m^2 K})^*$	absortância α	fator de calor solar FCS (%)**
paredes						
concreto	0,1984	5,04	1,30	0,8841 / 120,00	0,30	6,05
cobertura						
inverno	0,1810	3,12	0,73	0,9328	0,50	6,24
verão	0,2510	2,17	0,86	0,9214	0,50	4,34

3.3.2 Resultados obtidos para o projeto-referência 1

Os coeficientes volumétricos parciais, GV_i , e coeficiente volumétrico global de perda de calor, $GV_{inverno}$, para o *projeto-referência 1*, são apresentados na *tabela 3.38*.

Tabela 3.38. Coeficientes volumétricos parciais e global de perda de calor GV_i e $GV_{inverno}$ para o projeto-referência 1

elementos	$A \times U \left(\frac{W}{K} \right)$	$GV_i = \frac{A \times U}{V} \left(\frac{W}{m^3 K} \right)$	percentagem (%)
infiltração de ar	-	0,0562	1,49
paredes	206,79	2,0260	53,59
portas (ferro)	11,11	0,1088	2,88
portas (básculas)	7,27	0,0712	1,88
janelas basculantes	5,77	0,0565	1,50
janelas com venezianas	15,23	0,1492	3,95
cobertura	100,52	0,9848	26,05
pisos	33,44	0,3276	8,67
	$GV_{inverno}$	3,7804	100,00

A seguir, na *tabela 3.39*, é apresentada a análise da possibilidade de condensação sobre as superfícies internas e sob o forro do *projeto-referência 1*. As maiores contribuições para perdas de calor são através de paredes, com 53,6%, e cobertura, com aproximadamente 26,1%. De acordo com os resultados, há problemas de condensação sobre superfícies metálicas e fechamentos laterais em concreto e argamassa.

Tabela 3.39. Valores de temperatura superficial interna t_{si} para os diferentes fechamentos que compõe a envolvente do projeto-referência 1 e sua análise comparativa com a temperatura de ponto de orvalho $t_{orvalho}$

fechamentos	transmitância térmica $U \left(\frac{W}{m^2 K} \right)$	$t_{si} = t_i + R_{si} \times U \times (t_e - t_i)$ (°C) $\geq t_{orvalho}$	condensação?	
alvenarias				
arg. de revest. + tijolo	2,91	14,0°C \geq 13,5°C	não	
arg. de revest. + tijolo + arg. de revest.	2,83	14,1°C \geq 13,5°C	não	
arg. de revest. + tijolo + arg. de revest. + placas cerâmicas	2,78	14,2°C \geq 13,5°C	não	
alvenarias (cont.)				
viga de amarração	4,40	12,0°C \geq 13,5°C	sim	
argamassa	3,89	12,7°C \geq 13,5°C	sim	
esquadrias				
portas	ferro	5,88	10,0°C \geq 13,5°C	sim
	básculas	5,77	10,1°C \geq 13,5°C	sim
janelas	básculas	5,77	10,1°C \geq 13,5°C	sim
	veneziana	5,88	10,0°C \geq 13,5°C	sim
	veneziana + vidro	2,58	14,5°C \geq 13,5°C	não
cobertura				
forro	2,80	14,2°C \geq 13,5°C	não	

Para a análise da assimetria da radiação térmica, ΔT_{rp} , para a situação de inverno, é considerado o dormitório voltado a Leste como o menos favorável nesta situação, um ponto afastado $1m$ da parede Leste, no centro da mesma, e a $1m$ do piso. É feita a análise para a parede voltada a Leste (que contém a janela do dormitório) e a parede voltada a Sul (com maior solicitação nesta situação). Os resultados obtidos são indicados na *tabela 3.40*. Ambos os pontos selecionados para a análise satisfazem o critério assumido.

Tabela 3.40. Valores da temperatura radiante plana T_{rp} e assimetria de radiação térmica ΔT_{rp} para o projeto-referência 1 para a situação de inverno

cômodo	$T_{rp\ A}$ (°C)	$T_{rp\ B}$ (°C)	$\Delta T_{rp} = T_{rpA} - T_{rpB} < 14^{\circ}\text{C}$	Satisfaz?
dormitório leste (parede sul)	14,8	17,2	2,4	sim
dormitório leste (parede leste)	14,6	16,9	2,3	sim

Para a situação de verão, são analisadas a parede voltada a Oeste do dormitório oeste, com um ponto afastado $1m$ e no meio desta parede, a $1m$ do piso, e a cobertura deste mesmo dormitório, para um ponto a $1m$ do piso e no centro do cômodo, para o *projeto-referência 1*. Os resultados são apresentados na *tabela 3.41*. A cobertura não satisfaz o critério proposto.

Tabela 3.41. Valores da temperatura radiante plana T_{rp} e assimetria de radiação térmica ΔT_{rp} para o projeto-referência 1 para a situação de verão

cômodo	$T_{rp\ A}$ (°C)	$T_{rp\ B}$ (°C)	$\Delta T_{rp} = T_{rpA} - T_{rpB} < 14^{\circ}\text{C}$	Satisfaz?
dormitório oeste (parede oeste)	38,5	32,3	6,2	sim
cômodo	$T_{rp\ A}$ (°C)	$T_{rp\ B}$ (°C)	$\Delta T_{rp} = T_{rpA} - T_{rpB} < 9^{\circ}\text{C}$	Satisfaz?
dormitório oeste (cobertura)	41,4	29,1	12,3	não

A *tabela 3.42* apresenta os fluxos máximos de calor, $Q_{máx}$, para os diferentes fechamentos que compõem a envolvente do *projeto-referência 1*, os respectivos coeficientes volumétricos parciais de ganhos de calor, GV_i , e o coeficiente volumétrico global de ganho de calor, $GV_{verão}$.

Tabela 3.42. Fluxo máximo de calor $Q_{\text{máx}}$ e coeficientes volumétricos parciais de ganho de calor GV_i para o projeto-referência 1

fechamentos	fluxo de calor $Q_{\text{máx}}$ (W)	$GV_i = \frac{Q_{\text{máx}}}{V \times (t_e - t_i)} \left(\frac{W}{m^3 K} \right)$	percentagem (%)
orientação: Oeste			
alvenarias de tijolo	752,22	1,6367	8,92
viga e argamassa	102,52	0,2232	1,22
porta	478,62	1,0420	5,68
janela (vidro)	178,95	0,3896	2,12
janela (ferro)	209,99	0,4572	2,49
fluxo total de calor Q a Oeste	= 1.722,30	$\Sigma GV_i = 3,7497$	20,43
orientação: Norte			
alvenarias de tijolo	653,45	1,4227	7,75
viga	41,58	0,0905	0,49
porta	177,40	,03862	2,10
janelas (vidro)	99,89	0,2175	1,19
janelas (ferro)	8,03	0,0175	0,10
fluxo total de calor Q a Norte	980,35	$\Sigma GV_i = 2,1344$	11,63
orientação: Leste			
alvenarias de tijolo	289,57	0,6304	3,44
viga e argamassa	39,03	0,0850	0,46
janelas (ferro)	500,62	1,0899	5,94
fluxo total de calor Q a Leste	829,22	$\Sigma GV_i = 1,8053$	9,84
orientação: Sul			
alvenarias de tijolo	791,71	1,7237	9,39
alvenarias de tijolo	38,01	0,0828	0,45
fluxo total de calor Q a Sul	829,72	$\Sigma GV_i = 1,8064$	9,84

Tabela 3.42. continuação

fechamentos	fluxo de calor $Q_{\text{máx}}$ (W)	$GV_i = \frac{Q_{\text{máx}}}{V \times (t_e - t_i)}$ ($\frac{W}{m^3 K}$)	percentagem (%)
orientação: superfície inclinada 16° e 14°			
cobertura	3.788,20	8,2475	44,94
fluxo total de calor Q pela cobertura	3.788,20	$\Sigma GV_i = 8,2475$	44,94
orientação: horizontal			
pisos	- 279,17	- 0,6078	3,31
fluxo total de calor Q pelo piso	- 279,17	$\Sigma GV_i = -0,6078$	3,31
fluxo total de calor através da envolvente	7.870,68	$GV_{\text{verão}} = 17,1356$	100,00

As três principais contribuições são a cobertura, com 44,9%, a parte da envolvente vertical voltada a Oeste, com 20,4%, e a voltada a Norte, com 11,6%.

A *tabela 3.43* apresenta os resultados obtidos para o coeficiente de superfície pesada equivalente, $coef_{SPE}$, ou categoria de inércia para o *projeto-referência 1*. O coeficiente de superfície pesada equivalente, $coef_{SPE}$, dado por $coef_{SPE} = \frac{SPE}{A_{edif}}$, é igual a 1,97. A inércia térmica da edificação, de acordo com a *tabela 2.15*, no *Capítulo 2* é média.

Tabela 3.43. Características físicas e térmicas dos fechamentos externos e das partições internas do projeto-referência 1 e coeficientes de inércia $\text{coef}_{\text{inércia}}$

fechamentos ou partições internas	área A (m ²)	massa e área (kg/m ²)	resistência térmica do revestimento interno ($\frac{m^2 K}{W}$)	coeficiente de inércia $\text{coef}_{\text{inércia}}$	SPE = A × $\text{coef}_{\text{inércia}}$ (m ²)
fechamento externo (parede sul)					
arg. de revest. + tijolo (0,14 m)	17,23	225,17	0,0140	1,0	17,23
arg. de revest. + tijolo + arg. de revest. + placa cerâmica (0,16 m)	7,01	254,95	$\frac{0,005}{1,05} = 0,0048$	1,0	7,01
viga (0,10 m)	1,05	220,00	$\frac{0,10}{1,75} = 0,0571$	1,0	1,05
partições internas					
tijolo (0,125 m)	35,71	195,17	0,1575	1/3	11,90
viga (0,10 m)	1,73	220,00	$\frac{0,10}{1,75} = 0,0571$	1,0	1,73
piso (arg. de regularização)	32,88	279,00	$\frac{0,02}{1,15} = 0,0174$	1,0	32,88
	95,61			Σ SPE =	71,80
* considerando a área de piso delimitada pelo perímetro interno das paredes externas					

A tabela 3.44 apresenta as efusividades térmicas dos ambientes do projeto-referência 1.

Tabela 3.44. Características físicas e térmicas das partições internas e fechamentos externos dos cômodos do projeto-referência 1 e efusividade térmica do ambiente ef_{amb}

fechamentos	área S_i (m^2)	$\lambda \times \rho \times c$ ($\frac{kJ \times W}{m^4 K^2}$)	$ef_i = \sqrt{\lambda \times \rho \times c} \left(\frac{W \times s^2}{m^2 K} \right)$	$S_i \times ef_i$
sala e cozinha				
tijolo	35,71	1.848,01	1.359,42	48.544,72
arg. de revest. + tijolo	15,83	1.848,01	1.359,42	21.519,54
arg. de revest. + tijolo + arg. de revest.	1,30	2.300,00	1.516,58	1.971,55
viga	4,92	3.850,00	1.962,14	9.653,74
forro	17,02	193,20	439,55	7.481,06
piso	13,19	2.070,00	1.438,75	18.977,11
$\Sigma S_i =$	87,97		$\Sigma A \times ef_i =$	61.028,26
$ef_{amb} = \frac{\sum (S_i \times ef_i)}{\sum S_i} =$				$1.229,37 \frac{W \times s^2}{m^2 K}$
dormitório leste				
tijolo	16,53	1.848,01	1.359,42	22.471,14
arg. de revest. + tijolo	14,48	1.848,01	1.359,42	19.684,33
viga	1,74	3.850,00	1.962,14	3.414,13
forro	8,58	193,20	439,55	3.771,30
piso	8,31	2.070,00	1.438,75	11.956,01
$\Sigma S_i =$	49,64		$\Sigma A \times ef_i =$	61.296,90
$ef_{amb} = \frac{\sum (S_i \times ef_i)}{\sum S_i} =$				$1.234,83 \frac{W \times s^2}{m^2 K}$

Tabela 3.44. continuação

fechamentos	área S_i (m^2)	$\frac{\lambda \times \rho \times c}{m^4 K^2}$ ($\frac{kJ \times W}{m^4 K^2}$)	$ef_i = \sqrt{\lambda \times \rho \times c} \left(\frac{W \times s^{\frac{1}{2}}}{m^2 K} \right)$	$S_i \times ef_i$
dormitório oeste				
tijolo	17,57	1.848,01	1.359,42	23.884,93
arg. de revest. + tijolo	15,29	1.848,01	1.359,42	20.785,46
viga	1,74	3.850,00	1.962,14	3.414,13
forro	8,56	193,20	439,55	3.762,51
piso	8,31	2.070,00	1.438,75	11.956,01
$\Sigma S_i =$	51,47		$\Sigma A \times ef_i =$	63.803,03
$ef_{amb} = \frac{\sum_i (S_i \times ef_i)}{\sum S_i} =$				$1.239,62 \frac{W \times s^{\frac{1}{2}}}{m^2 K}$

A tabela 3.45 apresenta as taxas da envolvente para o projeto-referência 1.

Tabela 3.45. Taxas da envolvente para o projeto-referência 1

taxa	critério	valor	satizfaz?
área da cobertura sul ou sudeste \times área total da cobertura	o projeto apresenta águas voltadas a Oeste e Leste		não
área da parede norte \times área da envolvente vertical	$coef_{paredeN} = \frac{\text{área da parede norte}}{\text{área da envolvente vertical}} \geq 0,25$	0,30	sim

A seguir, na *tabela 3.46*, são apresentados os resultados obtidos com a análise da ventilação natural.

Tabela 3.46. Variáveis que definem o fluxo de ar Φ_{ar} , para o projeto-referência 1, por ação do vento e por diferença de temperatura

ventilação natural por ação do vento								
v_z (m/s)	θ (°)	ΔC_p	$\Delta C_{p\text{corrigido}}$	área de entrada do ar A_{entrada} (m ²)	área de saída do ar $A_{\text{saída}}$ (m ²)	área intermediária do ar A_{inter} (m ²)	área equivalente A (m ²)	temperatura do ar externo t_e (°C)
1,70	90	1,7470	0,5241	0,24	0,78	4,20	0,23	27,0
fluxo de ar Φ_{ar} (m ³ /s), renovações de ar por segundo N (renovações/segundo) e fluxo de calor $Q_{\text{ventilação}}$ (W)								
$\Phi_{ar} = 0,6 \times A \times v_z \times \sqrt{\Delta C_p} = 0,6 \times 0,23 \times 1,80 \times \sqrt{0,5241} = 0,1688 \frac{m^3}{s}$								
$N = \frac{\Phi_{ar}}{\text{volume edificação}} = \frac{0,1688}{102,07} = 0,0017 \frac{\text{renovações}}{s} \text{ ou } 5,95 \frac{\text{renovações}}{h}$								
$Q_{\text{ventilação}} = \Phi_{ar} \times [c_{ar} \times (t_e - t_i) + \rho_{ar} \times (H_e - H_i)]$								
$Q_{\text{ventilação}} = 0,1688 \times [1.200 \times (27,0 - 29,0) + 1,2 \times (68.000 - 79.000)] = - 2.633,28 \text{ W ou } - 2,63 \text{ kJ/s}$								
ventilação natural por diferença de temperatura								
$\Phi_{ar} = 0,6 \times \frac{A_{\text{útil}}}{3} \times \sqrt{\frac{19,6 \times (t_i - t_e) \times l_{\text{altura}}}{t_i + t_e}}$								
$\Phi_{ar} = 0,6 \times \frac{0,12}{3} \times \sqrt{\frac{19,6 \times (29,0 - 24,0) \times 1,00}{29,0 + 24,0}} = 0,0327 \frac{m^3}{s}$								
$N = \frac{\Phi_{ar}}{\text{volume edificação}} = \frac{0,4471}{125,80} = 0,0003 \frac{\text{renovações}}{s} \text{ ou } 1,15 \frac{\text{renovações}}{h}$								
$Q_{\text{ventilação}} = \Phi_{ar} \times [c_{ar} \times (t_e - t_i) + \rho_{ar} \times (H_e - H_i)]$								
$Q_{\text{ventilação}} = 0,0327 \times [1.200 \times (24,0 - 29,0) + 1,2 \times (66.000 - 79.000)] = - 706,32 \text{ W ou } - 0,71 \text{ kJ/s}$								

O fluxo de calor extraído por ação do vento remove o calor gerado pela ocupação interna (1.060W). O fluxo de calor extraído por diferença de temperatura, $Q_{\text{ventilação}}$, é suficiente para remover o fluxo gerado pela ocupação de duas pessoas em repouso (200W). A tabela 3.47 apresenta a área total e a capacidade térmica total, C_T , e das partições internas do projeto-referência 1, bem como a energia requerida para a diminuição da temperatura destas partições.

Tabela 3.47. Tipos de partições internas, áreas e capacidades térmicas para o projeto-referência 1

partições internas	áreas (m ²)	capacidade térmica $C_T (\frac{kJ}{m^2 K})$	energia térmica requerida para diminuição da temperatura ($\frac{kJ}{K}$)
arg. de revest. + tijolo (0,125 m)	35,71	149,85	5.351,00
vigas (0,10)	1,21	220,00	266,20
total			5.617,20kJ/K

Como exposto no *Capítulo 2, item 2.5.4*, é analisada a eficácia da ventilação natural por ação do vento para abaixar a temperatura dessas partições em 2,0 °C em 3,0 horas no máximo. A *tabela 3.48* apresenta os resultados encontrados para o *projeto-referência 1*.

Tabela 3.48. Tempo necessário para redução da temperatura das partições internas em 2,0°C pelo fluxo de ar promovido pela ventilação natural para o projeto-referência 1

fluxo de calor devido ventilação natural por ação do vento $Q_{ventilação} (kJ/s)$	energia térmica para redução da temperatura das partições internas em 1,0 °C (kJ/ K)	tempo para redução de 2,0°C
2,63	5.617,20	36min

A seguir, verifica-se se a ventilação natural por ação do vento remove o maior fluxo máximo de calor, $Q_{máx}$, que atravessa a parede voltada a Oeste.

O fluxo máximo de calor, $Q_{máx}$, através das alvenarias e viga voltadas a Oeste, para é de 854,74W (vide *tabela 4.29*). O fluxo removido pela ventilação natural, $Q_{ventilação}$, por ação do vento é igual a 2.633,28W. Logo, há a possibilidade da remoção do fluxo máximo de calor, $Q_{máx}$, a Oeste.

3.3.3 Resultados obtidos para o projeto-referência 2

Os coeficientes volumétricos parciais, GV_i , e coeficiente volumétrico global de perda de calor, $GV_{inverno}$, para o *projeto-referência 2*, são apresentados na *tabela 3.49*.

Tabela 3.49. Coeficientes volumétricos parciais de perda térmica GV_i e coeficiente volumétrico global de perda de calor $GV_{inverno}$ para o projeto-referência 2

elementos	$A \times U \left(\frac{W}{K} \right)$	$GV_i = \frac{A \times U}{V} \left(\frac{W}{m^3 K} \right)$	percentagem (%)
infiltração de ar	-	0,0562	1,06
paredes	344,79	3,3779	64,72
portas (ferro)	11,11	0,1088	2,06
portas (básculas)	7,27	0,0712	1,35
janelas basculantes	5,77	0,0565	1,07
janelas com venezianas	15,23	0,1492	2,82
cobertura	112,01	1,0974	20,74
pisos	33,44	0,3276	6,19
	$GV_{inverno}$	5,2917	100,0

As principais contribuições são devidas às paredes e cobertura, com 64,7% e 20,7% respectivamente.

A seguir, na *tabela 3.50*, é apresentada a análise da possibilidade de condensação sobre as paredes e sob cobertura (forro) do *projeto-referência 2*.

Tabela 3.50. Valores de temperatura superficial interna t_{si} para a parede e a cobertura do projeto-referência 2 e sua análise comparativa com a temperatura de ponto de orvalho $t_{orvalho}$

fechamentos	transmitância térmica $U \left(\frac{W}{m^2 K} \right)$	$t_{si} = t_i + R_{si} \times U \times (t_e - t_i)$ (°C) $\geq t_{orvalho}$	condensação?
alvenarias			
concreto	5,04	11,1°C \geq 13,5°C	sim
cobertura			
forro	2,80	14,7°C \geq 13,5°C	não

As paredes de concreto apresentam problemas de condensação segundo critério propostos.

Para a análise da assimetria da radiação térmica, ΔT_{rp} , para a situação de inverno, considera-se o mesmo cômodo analisado para o *projeto-referência 1*, ou seja o dormitório voltado a Leste, para a parede voltada a Leste (que contém a janela do dormitório) e a parede voltada a Sul (com maior solicitação nesta situação). Os resultados obtidos são indicados na *tabela 3.51*.

Tabela 3.51. Valores da temperatura radiante plana T_{rp} e assimetria de radiação térmica ΔT_{rp} para o projeto-referência 2 para a situação de inverno

cômodo	T_{rpA} (°C)	T_{rpB} (°C)	$\Delta T_{rp} = T_{rpA} - T_{rpB} < 14^\circ\text{C}$	Satisfaz?
dormitório leste (parede sul)	12,7	16,9	4,2	sim
dormitório leste (parede leste)	13,0	16,4	3,4	sim

Ambos os pontos selecionados para a análise satisfazem o critério assumido.

Para a situação de verão, a parede voltada a Oeste do dormitório oeste e a cobertura deste mesmo dormitório são analisadas, tal como feito para o *projeto-referência 1*. Os resultados são apresentados na *tabela 3.52*. A cobertura (forro) não satisfaz o critério proposto.

Tabela 3.52. Valores da temperatura radiante plana T_{rp} e assimetria de radiação térmica ΔT_{rp} para o projeto-referência 2 para a situação de verão

cômodo	T_{rpA} (°C)	T_{rpB} (°C)	$\Delta T_{rp} = T_{rpA} - T_{rpB} < 14^{\circ}\text{C}$	Satisfaz?
dormitório oeste (parede oeste)	39,6	32,6	7,0	sim

cômodo	T_{rpA} (°C)	T_{rpB} (°C)	$\Delta T_{rp} = T_{rpA} - T_{rpB} < 9^{\circ}\text{C}$	Satisfaz?
dormitório oeste (cobertura)	42,1	29,3	12,8	não

A *tabela 3.53* apresenta os fluxos máximos de calor, $Q_{m\acute{a}x}$, por orientação solar, para os diferentes fechamentos que compõem a envolvente do *projeto-referência 2* e os respectivos coeficientes volumétricos parciais de ganho de calor, GV_i .

Tabela 3.53. Fluxo máximo de calor $Q_{m\acute{a}x}$ e coeficientes volumétricos parciais de ganho de calor GV_i para o projeto-referência 2

fechamentos	fluxo de calor $Q_{m\acute{a}x}$ (W)	$GV_i = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{V \times (t_e - t_i)} \left(\frac{W}{m^3 K} \right)$	percentagem (%)
orientação: Oeste			
paredes de concreto	1.048,68	2,2831	11,43
porta	478,62	1,0420	5,22
janela (vidro)	178,95	0,3896	1,95
janela (ferro)	209,99	0,4572	2,29
fluxo total de calor Q a Oeste	= 1.916,24	$\Sigma GV_i = 4,1720$	20,88
orientação: Norte			
concreto	829,14	1,8052	9,04
porta	177,40	0,3862	1,93
janelas (vidro)	99,89	0,2175	1,09
janelas (ferro)	8,03	0,0175	0,09
fluxo total de calor Q a Norte	1.114,46	$\Sigma GV_i = 2,4264$	12,15

Tabela 3.53. continuação

fechamentos	fluxo de calor $Q_{\text{máx}}$ (W)	$GV_i = \frac{Q_{\text{máx}}}{V \times (t_e - t_i)} \left(\frac{W}{m^3 K} \right)$	percentagem (%)
orientação: Leste			
concreto	404,89	0,8815	4,41
janelas (ferro)	500,62	1,0899	5,46
fluxo total de calor Q a Leste	905,51	$\Sigma GV_i = 1,9714$	9,87
orientação: Sul			
concreto	994,85	2,1659	10,84
fluxo total de calor Q a Sul	994,85	$\Sigma GV_i = 2,1659$	10,84
orientação: superfície inclinada 16° e 14°			
cobertura	3.965,54	8,6336	43,22
fluxo total de calor Q pela cobertura	3.965,54	$\Sigma GV_i = 8,6336$	43,22

As principais contribuições são devidas a parcelas da envolvente voltadas a Oeste, Norte e à cobertura.

A *tabela 3.54* apresenta os resultados obtidos para o coeficiente de superfície pesada equivalente, $coef_{SPE}$, ou categoria de inércia o *projeto-referência 2*. O coeficiente de superfície pesada equivalente, $coef_{SPE}$, dado por $coef_{SPE} = \frac{SPE}{A_{edif}}$, é igual a 1,00. A inércia térmica da edificação, de acordo com a *tabela 2.15*, no *Capítulo 2* é *fraca*.

A *tabela 3.55* apresenta as efusividades térmica dos ambientes do *projeto-referência 2*.

Tabela 3.54. Características físicas e térmicas dos fechamentos externos e das partições internas do projeto-referência 2 e coeficientes de inércia $\text{coef}_{\text{inércia}}$

fechamentos ou partições internas	área A (m ²)	massa e área (kg/m ²)	resistência térmica do revestimento interno ($\frac{m^2 K}{W}$)	coeficiente de inércia $\text{coef}_{\text{inércia}}$	SPE = A × $\text{coef}_{\text{inércia}}$ (m ²)
fechamento externo (parede sul)					
concreto (0,05 m)	25,29	110,00	0,0286	1,0	25,29
partições internas					
concreto (0,05 m)	37,44	110,00	0,0286	1,0	37,44
piso (arg. de regularização)	32,88	279,00	$\frac{0,02}{1,15} = 0,0174$	1,0	32,88
	95,61			Σ SPE =	95,61

* considerando a área de piso delimitada pelo perímetro interno das paredes externas

Tabela 3.55. Características físicas e térmicas das partições internas e fechamentos externos e efusividade térmica do ambiente ef_{amb} dos cômodos do projeto-referência 2

fechamentos	área S_i (m ²)	$\lambda \times \rho \times c$ ($\frac{kJ \times W}{m^4 K^2}$)	$ef_i = \sqrt{\lambda \times \rho \times c} \left(\frac{W \times s^{\frac{1}{2}}}{m^2 K} \right)$	$S_i \times ef_i$
sala e cozinha				
concreto	57,76	3.850,00	1.962,14	113.333,21
forro	17,02	193,20	439,55	7.481,06
piso	13,19	2.070,00	1.438,75	18.977,11
Σ S_i =	87,97		Σ A × ef_i =	61.028,26

$$ef_{\text{amb}} = \frac{\sum_i (S_i \times ef_i)}{\sum S_i} = \frac{2.282,82}{87,97} = \frac{2.282,82}{87,97} \frac{W \times s^{\frac{1}{2}}}{m^2 K}$$

Tabela 3.55. continuação

fechamentos	área S_i (m^2)	$\lambda \times \rho \times c$ ($\frac{kJ \times W}{m^4 K^2}$)	$ef_i = \sqrt{\lambda \times \rho \times c} \left(\frac{W \times s^{\frac{1}{2}}}{m^2 K} \right)$	$S_i \times ef_i$
dormitório leste				
concreto	32,75	3.850,00	1.962,14	64.260,09
forro	8,58	193,20	439,55	3.771,30
piso	8,31	2.070,00	1.438,75	11.956,01
$\Sigma S_i =$	49,64		$\Sigma A \times ef_i =$	79.987,40
$ef_{amb} = \frac{\sum_i (S_i \times ef_i)}{\sum S_i} = 1.611,35 \frac{W \times s^{\frac{1}{2}}}{m^2 K}$				
dormitório oeste				
concreto	34,60	3.850,00	1.962,14	67.890,04
forro	8,56	193,20	439,55	3.762,51
piso	8,31	2.070,00	1.438,75	11.956,01
$\Sigma S_i =$	51,47		$\Sigma A \times ef_i =$	83.608,56
$ef_{amb} = \frac{\sum_i (S_i \times ef_i)}{\sum S_i} = 1.624,41 \frac{W \times s^{\frac{1}{2}}}{m^2 K}$				

As taxas da envolvente da edificação, para o *projeto-referência 2*, permanecem as mesmas encontradas para o *projeto-referência 1*.

O tamanho e disposição das aberturas não são alteradas no *projeto-referência 2*. Portanto o fluxo de calor, $Q_{ventilação}$, resultante da ventilação natural por ação do vento e por diferença de temperatura permanece o mesmo alcançado pelo *projeto-referência 1*.

A *tabela 3.56* apresenta a área total e a capacidade térmica total, C_T , e das partições internas do *projeto-referência 2*, bem como a energia requerida para a diminuição da temperatura destas partições.

Tabela 3.56. Tipos de partições internas, áreas e capacidades térmicas para o projeto-referência 2

partições internas	áreas (m ²)	capacidade térmica $C_T \left(\frac{kJ}{m^2 K} \right)$	energia térmica requerida para diminuição da temperatura $\left(\frac{kJ}{K} \right)$
concreto	36,92	120,00	4.430,40
total			4.430,40kJ/K

A *tabela 3.57* apresenta a eficácia da ventilação natural por ação do vento para abaixar a temperatura dessas partições em 2,0 °C em 3,0 horas no máximo, para o *projeto-referência 2*.

Tabela 3.57. Tempo necessário para redução da temperatura das partições internas em 2,0 °C pelo fluxo de ar promovido pela ventilação natural para o projeto-referência 2

fluxo de calor devido ventilação natural por ação do vento $Q_{ventilação} \text{ (kJ/s)}$	energia térmica para redução da temperatura das partições internas em 1,0 °C (kJ/ K)	tempo para redução de 2,0 °C
2,63	4.430,40	28min

Verifica-se se a ventilação natural por ação do vento remove o maior fluxo máximo de calor, $Q_{máx}$, que atravessa a parede voltada a Oeste a partir dos resultados expostos na *tabela 3.57*. O fluxo máximo de calor, $Q_{máx}$, através das paredes de concreto voltadas a Oeste é de 1.048,68W (vide *tabela 5.26*). O fluxo removido pela ventilação natural, $Q_{ventilação}$, por ação do vento é igual a 2.633,28W. Logo, há a possibilidade da remoção do fluxo máximo de calor, $Q_{máx}$, a Oeste.

3.4 Discussão de resultados

Este item discute os resultados encontrados apresentados neste capítulo: aplicação dos parâmetros térmicos sugeridos nos quatro projetos selecionados e condições de ventilação natural. A *tabela 3.58* resume os resultados obtidos para os quatro projetos analisados através dos parâmetros propostos.

Tabela 3.58. Resultados obtidos para os protótipos Aglotec e Alvorada, projetos-referência 1 e 2

parâmetros térmicos	Aglotec	Alvorada	projeto-referência 1	projeto-referência 2
coeficiente volumétrico global de perda de calor GV_{inverno}	$3,3212 \frac{W}{m^3 \cdot C}$	$2,8954 \frac{W}{m^3 \cdot C}$	$3,7804 \frac{W}{m^3 \cdot C}$	$5,2917 \frac{W}{m^3 \cdot C}$
condensação superficial sobre fechamentos em regime permanente $t_{si} \times t_{\text{orvalho}}$	sobre janelas	sobre paredes de 0,13m ou menos, vigas e janelas sala e cozinha, dormitório norte e banheiro	sobre vigas, portas e janelas, com exceção de partes envidraçadas com veneziana	Sobre paredes, vigas, portas e janelas, com exceção de partes envidraçadas com veneziana
assimetria da radiação térmica ΔT_{rp}	cobertura não satisfaz critério	cobertura não satisfaz critério	cobertura não satisfaz critério	cobertura não satisfaz critério
coeficiente volumétrico global de ganho de calor $GV_{\text{verão}}$	$22,6920 \frac{W}{m^3 \cdot C}$	$19,4754 \frac{W}{m^3 \cdot C}$	$17,1356 \frac{W}{m^3 \cdot C}$	$18,7615 \frac{W}{m^3 \cdot C}$
coeficiente de superfície pesada equivalente ou categoria de inércia coef_{SPE}	1,62 (média)	1,85 (média)	1,97 (média)	1,00 (fraca)
efusividade térmica média do ambiente ef_{amb}	$977,49 \frac{W \times s^{\frac{1}{2}}}{m^2 \cdot C}$	$1.117,40 \frac{W \times s^{\frac{1}{2}}}{m^2 \cdot C}$	$1.234,61 \frac{W \times s^{\frac{1}{2}}}{m^2 \cdot C}$	$2.039,53 \frac{W \times s^{\frac{1}{2}}}{m^2 \cdot C}$
área da cobertura sul \times área total da cobertura $\text{coef}_{\text{coberturaS}}$	0,54	0,88	não apresenta a orientação sugerida	não apresenta a orientação sugerida
área da parede norte \times área da envolvente $\text{coef}_{\text{paredeN}}$	0,23	0,37	0,30	0,30

3.4.1 Parâmetros térmicos

De acordo com os resultados encontrados para os coeficientes volumétricos globais de perda de calor, GV_{inverno} , para os quatro projetos analisados, *Aglotec*, *Alvorada*, *projeto-referência 1* e *projeto-referência 2*, os dois primeiros projetos apresentaram coeficientes mais baixos,

$3,3212 \frac{W}{m^3 \cdot C}$ e $2,8954 \frac{W}{m^3 \cdot C}$ respectivamente, indicando menores perdas através da

envolvente da edificação, resultado esperado, já que estes projetos são melhorados em relação

a prática local. O projeto considerado, pelos agentes consultados, como solução não aconselhável, apresentou menor desempenho neste requisito comparativamente aos demais projetos analisados (coeficiente de perdas de calor igual a $5,2917 \frac{W}{m^3 \cdot ^\circ C}$).

Em relação à diferença existente entre o protótipo *Aglotec* e *Alvorada*, esta pode estar relacionada à grande área de esquadrias presente na primeira edificação, que aumenta as áreas de infiltração de ar e perdas de calor através de transmissão pelos vidros, uma vez que as esquadrias do protótipo *Aglotec* não possuem proteção opaca. Essa característica de projeto (esquadrias sem proteção e de grande área em relação às paredes) faz com que o desempenho térmico do protótipo, no que diz respeito ao coeficiente volumétrico global de perda de calor, $GV_{inverno}$, seja menor do que aquele do protótipo *Alvorada*, pois, de acordo com dados das tabelas 3.5 e 3.21, a resistência térmica total, R_T , dos fechamentos do protótipo *Aglotec* é superior à deste último, com exceção da cobertura. Outra característica que diferencia os dois protótipos é o coeficiente de forma, ou seja, a razão entre a área de paredes e cobertura e o volume total habitável. Para o protótipo *Aglotec*, essa razão é igual a $1,22m^2/m^3$, enquanto que, para o protótipo *Alvorada*, é igual a $0,81m^2/m^3$. O protótipo *Aglotec* é menos compacto que o protótipo *Alvorada*, tendo potencialmente mais capacidade de perder ou ganhar calor através de sua envolvente. A cobertura e as paredes são responsáveis por significativas perdas de calor através da envolvente para os quatro projetos analisados, sendo a cobertura sempre a principal contribuição, resultado também esperado, em se tratando de edificações térreas. Isto traduz a importância da configuração da cobertura (número de camadas e espessura) para a redução de perdas ou ganhos de calor através deste subsistema da edificação.

Comparando os valores de transmitância térmica das paredes e cobertura dos quatro projetos com aqueles recomendados pela ABNT (2005c, p. 6), cujos limites para paredes e cobertura são $3,60 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ e $2,00 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ (considerando a Zona Bioclimática 3, para Porto Alegre), as paredes possuem transmitâncias térmicas U inferiores a este valor com exceção do *projeto-referência 2*. Em relação as coberturas, o protótipo *Aglotec* possui valor alto, para situação de inverno, com transmitância térmica, U , igual a $3,11 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$. Os *projetos-referência 1 e 2*, com a mesma configuração de cobertura, atingem valores superiores àqueles recomendados pela norma. Já o protótipo *Alvorada* possui transmitância térmica, U , inferior ao valor máximo

recomendado. A análise feita a partir dos valores preconizados pela ABNT vão ao encontro dos resultados encontrados para o coeficiente volumétrico global de perda de calor, $GV_{inverno}$, para os dois protótipos.

Em relação à condensação superficial na alvenaria e no forro, os problemas de condensação são mais presentes no *projeto-referência 2* e no protótipo *Alvorada*. O primeiro apresenta problemas sobre as paredes em geral, feitas de concreto de 5cm. Para o segundo é verificada condensação superficial em praticamente todos os fechamentos, com exceção de pilares, alvenarias com 0,23m de espessura e com argamassa de revestimento em ambos os lados. Todos os projetos apresentam problemas de condensação sobre as janelas sem proteção opaca. Os problemas de condensação estão diretamente relacionados às transmitâncias térmicas, U , dos fechamentos. A alta transmitância térmica contribui para o fenômeno de condensação, considerando as condições das variáveis ambientais e térmicas internas adotadas para fins de cálculo. MORELLO (2005a), no período em que efetuou medições no protótipo *Alvorada*, não verificou a presença de condensação sobre as paredes. A explicação pode estar associada à capacidade do material cerâmico (tijolos), sem revestimento interno de argamassa, em absorver a umidade, evitando, devido a esta característica, o fenômeno de condensação superficial. Mas isto não elimina o problema, pois a condensação poderá ocorrer no interior do material, chamado de condensação intersticial, o que pode ocasionar sua degradação ou proliferação de microorganismos prejudiciais à saúde humana.

Quanto ao requisito relativo à assimetria da radiação térmica, ΔT_{rp} , para o inverno, todos os projetos analisados satisfazem as condições estipuladas. Já para a situação de verão, a cobertura não satisfaz o critério adotado para este requisito para todos os projetos. No entanto, o protótipo *Alvorada* possui a assimetria da radiação térmica, ΔT_{rp} , para a cobertura no verão, mais afastada do valor de referência, com 5°C de diferença. Este resultado pode ser melhorado através da alteração da cor da cobertura, cuja absortância, α , é igual a 0,8.

Para o coeficiente volumétrico global de ganho de calor, $GV_{verão}$, as principais contribuições são devidas às coberturas dos projetos analisados, acima de 42%, seguidas pela parcela da envolvente orientada a Oeste ou aproximadamente a Oeste, com percentagens acima de 20%. Resultado também esperado considerando uma edificação térrea na latitude de Porto Alegre e corroborando a importância da configuração da cobertura para redução de ganhos de calor. Embora a cobertura do protótipo *Alvorada* tenha sido projetada segundo uma orientação solar

que reduzisse os ganhos solares através dela, esta estratégia não resultou em maior eficiência, segundo a análise do coeficiente volumétrico global de ganho de calor, $GV_{\text{verão}}$, e da assimetria de radiação térmica, ΔT_{rp} .

O coeficiente de superfície pesada equivalente, $coef_{SPE}$, aponta inércia média dos projetos analisados, com exceção do *projeto-referência 2*, cuja categoria de inércia é classificada como *leve*. Através da análise dos resultados de medições *in loco* efetuadas por BECKER (1992) e MORELLO (2005a, 2005b), os protótipos *Aglotec* e *Alvorada* apresentam significativo coeficiente de amortecimento, resultado que vai ao encontro do valor encontrado para o parâmetro relativo à inércia térmica. Já os valores encontrados para efusividade dos ambientes, ef_{amb} , média calculada a partir da efusividade térmica de alguns ambientes, indicam inércia *forte*, segundo o critério apresentado no *item 2.5.3.8* do *Capítulo 2*.

3.4.2 Condições de ventilação natural

Quanto à análise das condições de ventilação natural dos projetos selecionados, a ausência de dispositivos de segurança nas aberturas (janelas), tal como venezianas, impede que seja aproveitada a ventilação noturna em um período em que as pessoas estejam dormindo ou mesmo ausentes. Considera-se importante que tais dispositivos sejam considerados no projeto das habitações de interesse social, pois muitas vezes seus usuários não poderão contar com sistemas artificiais de resfriamento (ventiladores, por exemplo). As taxas de ventilação obtidas por ação do vento e por diferença de temperatura são suficientes para remoção do calor gerado pela ocupação interna e acumulado nas partições internas da edificação. Nova análise deve ser feita para os protótipos *Aglotec* e *Alvorada* ao se considerar a adoção dos dispositivos de segurança, pois estas taxas serão reduzidas.

3.5 Considerações finais do capítulo

Os resultados alcançados pelos quatro projetos analisados, servem de valores de referência iniciais para a avaliação de habitações de interesse social. Os protótipos *Aglotec* e *Alvorada* apresentam, para alguns itens, melhor desempenho do que o *projeto-referência 1*, considerado

como prática local para habitações térreas unifamiliares de interesse social. O *projeto-referência 1* apresenta problemas de assimetria da radiação térmica para a cobertura para a situação de verão, o mesmo ocorrendo para o protótipo *Aglotec* e *Alvorada*. Apesar deste desempenho desfavorável, assume-se os valores dos parâmetros térmicos atingidos pelos projetos como valores de referência propostos no método, uma vez que a satisfação deste critério implicaria custos adicionais na solução da cobertura. Fica como sugestão a solução de cobertura do protótipo *Alvorada*, que inclui uma camada de baixa emissividade térmica logo abaixo das telhas, composta por lâminas de alumínio. Essas lâminas foram recicladas e não representam custos adicionais no caso do protótipo *Alvorada*, mas representariam custos caso fossem adquiridas comercialmente.

A análise encaminhada para os quatro projetos selecionados não inclui a avaliação do usuário nem considera a ocupação da edificação, o que pode alterar de forma significativa o comportamento térmico da mesma. A possibilidade de ganhos internos de calor, operação de aberturas ligadas aos costumes culturais dos moradores, características dos vestuários e dos mobiliários, entre outros, são fatores que influenciam no comportamento térmico final da edificação e não são considerados neste estudo. Esses aspectos podem melhorar ou piorar o desempenho térmico da edificação e o conforto térmico dos usuários, seja para situação de inverno, seja para a situação de verão.

Como considerações finais desse capítulo, apresentam-se sugestões para aprimoramento do método:

- a) adotar um modelo físico para os coeficientes volumétricos globais de perda e ganho de calor que considere a temperatura do ar interno variável no tempo;
- b) basear o cálculo dos coeficientes volumétricos globais de perda e ganho de calor a partir da análise dos fluxos simultâneos e não máximos;
- c) inserir no cálculo dos coeficientes volumétricos globais de perda e ganho de calor e demais parâmetros térmicos, nos quais se aplica o ajuste, os ganhos internos devido à ocupação da edificação;
- d) inserir no cálculo do coeficiente volumétrico global de ganho de calor, as perdas ou ganhos de calor devido à ventilação natural.

4 ANÁLISE DE MEDIÇÕES IN LOCO PARA OS PROTÓTIPOS AGLOTEC E ALVORADA

Este capítulo tem por objetivo apresentar a análise de resultados obtidos através de medições in loco para os protótipos *Aglotec* e *Alvorada*. O comportamento medido *in loco* dos protótipos *Aglotec* e *Alvorada* é feito a partir de resultados apresentados por BECKER (1992) e MORELLO (2005), bem como através da complementação de análises de dados levantados por este último e não publicados pelo autor, para o protótipo *Alvorada*.

4.1 Protótipo Aglotec

A *tabela 4.1* apresenta os critérios definidos por BECKER (1992, p.11) para classificação dos dias constantes na seqüência de dias analisada pela autora. Os valores assumidos por BECKER (1992, p. 11) não se baseiam no intervalo de conforto definido por GIVONI (1992).

Tabela 4.1. Critérios utilizados por BECKER para classificação dos dias em quente, de conforto, frio e de variação superior a 15,0°C

classificação	símbolo	descrição
quente	Q	temperatura máxima do ar externo superior a 25,0°C
de conforto	C	temperatura do ar externo entre 14,0°C e 25,0°C
frio	F	temperatura máxima do ar externo inferior a 14,0°C
com variação superior a 15,0°C	Δ	variação da amplitude de onda de temperatura do ar externo igual ou superior a 15,0°C

(Fonte: adaptada de BECKER, 1992, p. 11)

Quanto à amplitude de onda de temperatura do ar externo, conforme AROZTEGUI e BRIZOLARA (1980, p. 3), amplitudes superiores a 10,0 °C já justificam a preocupação com a inércia térmica da edificação. Ao se considerar os limites da zona de conforto para inverno e verão definidas por GIVONI (1992), de 18,0 °C a 27,0 °C e 20,0 °C a 29,0 °C, respectivamente,

há uma variação entre o limite inferior e superior de $9,0^{\circ}\text{C}$, o que também justificaria a adoção do critério de $10,0^{\circ}\text{C}$ como variação de temperatura máxima do ar interno da edificação. Neste caso, a adoção do critério de amplitude de onda de temperatura do ar externo, t_e , superior a $15,0^{\circ}\text{C}$ poderia ser modificado para $10,0^{\circ}\text{C}$. A autora provavelmente assume os valores descritos na *tabela 4.26* por não possuir um conjunto mais amplo de dados para dias consecutivos em que pudesse utilizar os critérios dos autores comentados acima.

BECKER (1992, p. 47), através da análise comparativa de temperaturas do ar externo, t_e , e temperaturas do ar interno, t_i , para o protótipo *Aglotec*, conclui que, para o intervalo de tempo monitorado, o protótipo apresenta temperaturas do ar interno, t_i , sempre superiores às temperaturas do ar externo, t_e , na maioria dos horários, com exceção do turno da tarde para o dia 26 de abril de 1990. Comparando os resultados de temperatura do ar interno, t_i , com temperatura do ar externo, t_e , obtidas junto ao Aeroporto Salgado Filho, a autora constata que a temperatura média do ar interno é sempre superior à temperatura média do ar externo medida junto ao protótipo, com diferença média de $3,0^{\circ}\text{C}$ (BECKER, 1992, p. 47).

Para a seqüência de cinco dias disponível para o protótipo *Aglotec*, são organizados os dados comparativos de temperatura do ar externo, t_e , e temperaturas do ar interno, t_i , medidas em três recintos do protótipo: sala, dormitório voltado a Nordeste e dormitório voltado a Sudoeste. Os valores são apresentados na *figura 4.1* que segue.

De acordo com a *figura 4.1*, a temperatura do ar interno, t_i , mantém-se próxima das temperaturas máximas do ar externo e abaixo destas, com exceção do quarto dia, quando há queda de temperatura do ar externo, t_e . Nessa situação, a temperatura do ar interno, t_i , mantém-se acima da máxima registrada para o meio exterior. As temperaturas médias do ar externo e interno mantêm-se próximas, variando de $22,5^{\circ}\text{C}$ a $16,5^{\circ}\text{C}$ para o meio exterior e de $22,2^{\circ}\text{C}$ a $18,5^{\circ}\text{C}$ para o meio interior. O protótipo apresenta um coeficiente de amortecimento médio aproximado de $0,33$ para a seqüência de dias apresentada.

A *figura 4.2* apresenta os valores de temperatura do ar externo, t_e , e do ar interno, t_i , para uma seqüência de três dias consecutivos, 22 de maio a 24 de maio, para o protótipo *Aglotec* de acordo com as medições efetuadas por BECKER (1992, Anexo 2) para os cômodos sala, dormitório nordeste e dormitório sudoeste, representativo de uma seqüência de dias frios.

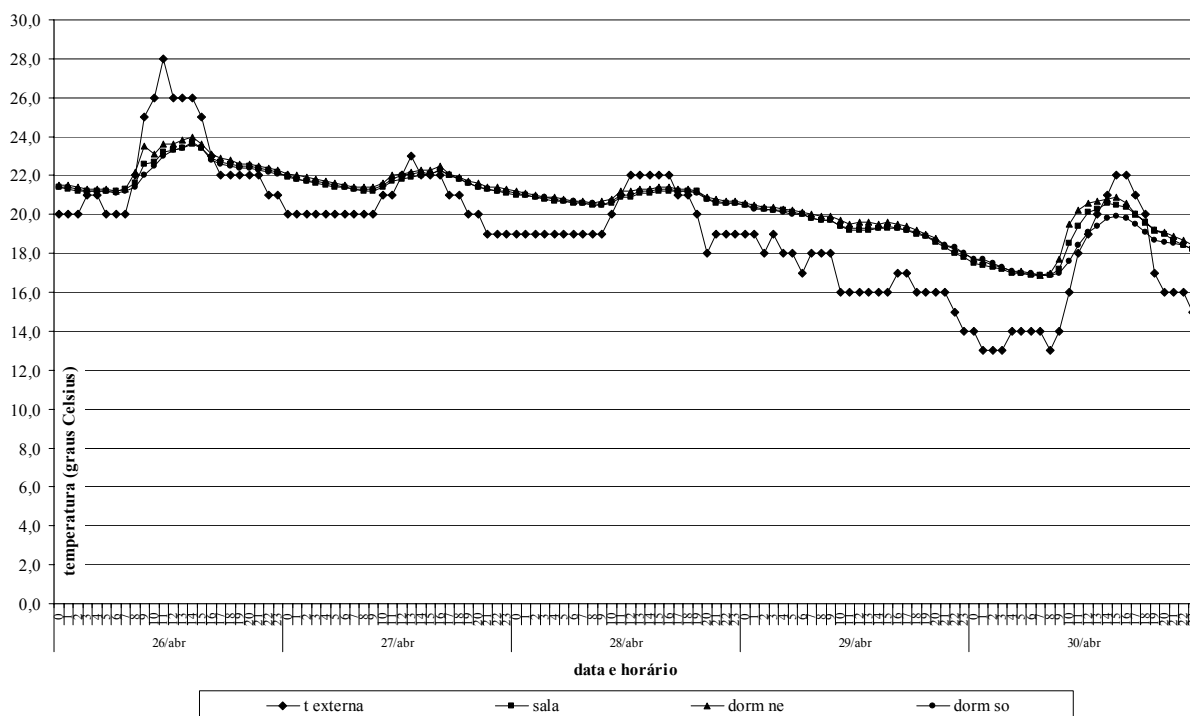


Figura 4.1. Temperatura do ar externo e interno t_e e t_i para sala, dormitório a Nordeste e a Sudoeste do protótipo Aglotec, conforme dados de BECKER (1992, Anexo 2)

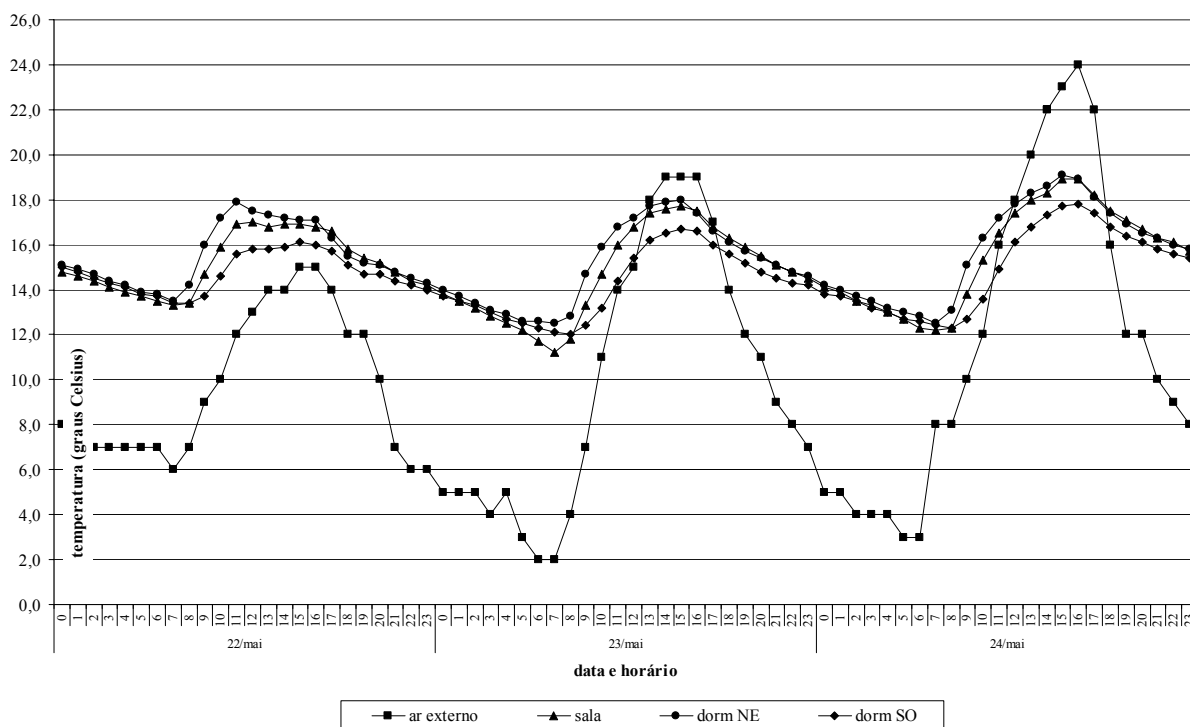


Figura 4.2. Temperatura do ar externo e interno t_e e t_i para os cômodos sala, dormitório nordeste e sudoeste, para os dias 22 de maio a 24 de maio segundo BECKER (1992, Anexo 2)

De acordo com os dados ilustrados na *figura 4.2*, o protótipo *Aglotec*, para as condições externas a que é submetido, mantém a temperatura do ar interno, t_i , próxima das temperaturas máximas do ar externo. Enquanto a temperatura do ar externo, t_e , atinge o valor mínimo de $3,0\text{ }^\circ\text{C}$ no terceiro dia da seqüência, a temperatura do ar interno, t_i , atinge um valor mínimo um pouco acima dos $12,0\text{ }^\circ\text{C}$. Há uniformidade das variações da temperatura do ar interno, t_i , nos três dias da seqüência ilustrados, mesmo com a temperatura do ar externo, t_e , crescente. Para o segundo e terceiro dia, a amplitude de onda de temperatura do ar externo atinge valores próximos a $18,0\text{ }^\circ\text{C}$ e $22,0\text{ }^\circ\text{C}$ respectivamente, enquanto que a amplitude de onda de temperatura do ar interno atinge valores de $8,0\text{ }^\circ\text{C}$ para ambos os dias. Ou seja, um coeficiente de amortecimento da ordem de $0,44$ e $0,36$. O coeficiente de amortecimento aproximado apresentado pelo protótipo é de $0,40$ para a seqüência de dias apresentada.

BECKER (1992, p. 47) analisa as temperaturas do ar interno, t_i , dos cômodos sala, dormitório nordeste e dormitório sudoeste, para os dias em que são feitas as medições *in loco*. A autora relata que são poucas as diferenças verificadas na temperatura do ar interno, t_i , destes cômodos, não ultrapassando $1,0\text{ }^\circ\text{C}$ de diferença, o que pode ser observado na *figura 4.1*. As pequenas diferenças verificadas apontam temperaturas do ar interno, t_i , mais altas para aqueles cômodos orientados a Nordeste (dormitório nordeste) em quase todos os turnos analisados (madrugada, manhã, tarde e noite). Segue na classificação de cômodo mais quente o dormitório sudoeste. Isto é esperado, uma vez que, para o período do ano em que são feitas as medições (início do outono), as fachadas voltadas a Leste, Norte e Oeste tendem a receber maior radiação solar, situação dos dois dormitórios. A uniformidade das temperaturas do ar interno, t_i , está relacionada ao pequeno volume da edificação e ao fato das aberturas estarem lacradas impedindo a ventilação dos cômodos, entre outros possíveis fatores.

BECKER (1992, p. 80) cita as exigências definidas pelo IPT para a temperatura radiante média, T_{rm} , e a temperatura do ar interno, t_i , para situação de inverno. Estas duas temperaturas não podem diferir além de $2,0\text{ }^\circ\text{C}$. A autora usa este critério na avaliação do protótipo *Aglotec*. Para a situação de verão, a diferença entre a temperatura superficial interna, t_{si} , dos fechamentos e a temperatura do ar interno, t_i , não deve ser maior do que $2,0\text{ }^\circ\text{C}$ e a diferença da temperatura superficial interna, t_{si} , do forro e a temperatura do ar interno não deve ser maior do que $3,0\text{ }^\circ\text{C}$. A autora verificou que, no período em que há medições, o protótipo *Aglotec* satisfaz os critérios acima descritos.

A análise das temperaturas superficiais internas, t_{si} , apresentadas por BECKER (1992, p. 50) indica que as paredes sudeste da sala (alvenaria com argamassa de revestimento em ambos os lados) e sudeste da cozinha (alvenaria com argamassa de revestimento em ambos os lados com revestimento interno em placas cerâmicas) têm uma diferença de até $1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, para o horário aproximado de 15 horas. Isto é esperado, uma vez que a resistência térmica da parede da cozinha é maior. Outro comportamento, segundo a autora, diz respeito à parede voltada a Nordeste apresentar temperatura superficial interna, t_{si} , sempre superior à temperatura superficial interna, t_{si} , da parede voltada a Sudoeste. Esta diferença é de $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. No entanto, através da análise dos dados da autora, a diferença entre as temperaturas superficiais internas, t_{si} , das paredes não ultrapassa $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Comparando-se as temperaturas superficiais internas t_{si} das paredes e do forro, verifica-se que esta diferença cresce, atingindo $3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, diferença máxima verificada entre a parede nordeste e o forro para as 20 horas do dia 30 de abril.

De modo geral, a análise por recinto indica que, para a sala, a parede nordeste possui uma temperatura superficial interna, t_{si} , maior do que a parede sudeste, devido à primeira receber mais radiação solar do que esta última, com exceção do intervalo entre 6 horas e 9 horas do dia 30 abril, onde a temperatura superficial interna, t_{si} , da parede sudeste está $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ acima da temperatura superficial interna, t_{si} , da parede nordeste. Para o dormitório sudoeste, a parede nordeste possui uma temperatura superficial interna, t_{si} , maior do que as paredes noroeste e sudoeste e menor do que a parede sudeste, com exceção do intervalo entre 11 horas do dia 26 de abril e 04 horas do dia 27 de abril e do intervalo entre 16 horas e 22 horas do dia 30 de abril, quando a primeira apresenta uma maior temperatura superficial interna, t_{si} . As paredes nordeste e sudeste, para o dormitório voltado a Sudoeste, são paredes internas. Sua temperatura superficial interna, t_{si} , maior pode estar relacionada à inércia térmica das partições internas do protótipo. Como o conjunto de dados de medições de temperatura do ar externo, t_e , do ar interno, t_i , e temperaturas superficiais internas, t_{si} , é muito pequeno, nada pode ser afirmado a respeito deste comportamento. Em relação às paredes noroeste e sudoeste, que são fechamentos externos do cômodo dormitório sudoeste, em geral a parede sudoeste apresenta temperatura superficial interna, t_{si} , maior, com exceção do intervalo entre 11 horas do dia 26 de abril a 2 horas do dia 27 de abril (tarde e noite), entre 19 horas do dia 27 de abril e 22 horas do mesmo dia (noite) e entre 17 horas e 23 horas do dia 30 de abril (noite). Esta diferença pode estar relacionada ao acúmulo de calor na parede nordeste, com área maior

naquele cômodo, uma vez que a parede sudoeste contém uma abertura envidraçada, o que diminui sua área.

BECKER (1992, p.78) apresenta os valores máximos e mínimos registrados para a temperatura superficial interna, t_{si} , para o piso do protótipo *Aglotec* para o conjunto total de dias não consecutivos em que são feitas as medições. Esses valores atingem $24,7^{\circ}\text{C}$ e $13,9^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Em onze dos dezesseis dias de levantamento, a temperatura superficial interna t_{si} do piso está entre $18,0^{\circ}\text{C}$ e $29,0^{\circ}\text{C}$, nos cinco dias restantes, a temperatura superficial interna, t_{si} , do piso está abaixo de $18,0^{\circ}\text{C}$, sendo que em três destes cinco dias a temperatura superficial interna, t_{si} , está 24 horas abaixo de $18,0^{\circ}\text{C}$.

Uma diferença máxima de $4,0^{\circ}\text{C}$ entre a temperatura de globo, t_{globo} , do dormitório nordeste e cozinha é verificada para o dia 30 de abril, às 11 horas. Também uma diferença entre a temperatura de globo, t_{globo} , do dormitório nordeste e do dormitório sudoeste da ordem de $3,7^{\circ}\text{C}$ às 10 horas é verificada para o dia 30 de abril. A diferença das temperaturas de globo, t_{globo} , são menores do que $1,0^{\circ}\text{C}$ para os quatro cômodos (sala, dormitório nordeste, dormitório sudoeste e cozinha) praticamente para todos os horários das medições *in loco*. A diferença existente entre a temperatura radiante média, T_{rm} (igual, nesse caso, a temperatura de globo t_{globo}), e a temperatura do ar interno, t_i , pode ser utilizada como um indicativo do efeito da assimetria da radiação térmica, ΔT_{rp} (transmissão de calor por radiação \times convecção).

Segundo a autora, a temperatura de globo, t_{globo} , para os três cômodos está, em geral, abaixo da temperatura do ar interno, t_i , com exceção do dia 30 de abril, em que a mesma é levemente superior a esta última, para o final da manhã e tarde. Este fenômeno pode estar associado ao grande sombreamento provocado pela vegetação do entorno, beirais e projeções das paredes internas sobre as fachadas da edificação, conforme levantamento do sombreamento proporcionado pelo entorno feito por BECKER (1992, p. 20), o que diminui a incidência de radiação solar direta sobre os fechamentos laterais do protótipo. Em relação ao dia 30 de abril, o acúmulo de calor pelas paredes externas, devido a uma radiação solar mais intensa, pode fazer com que a temperatura radiante média, T_{rm} , se eleve, se afastando da temperatura do ar interno, t_i . De acordo com a análise de dados sobre radiação solar apresentados por BECKER (1992, p. 15), para o dia 30 de abril, os valores de radiação solar (em W/m^2) são mais elevados e com simetria bem definida em relação às 12 horas, indicando

um dia de céu parcialmente encoberto a claro, enquanto que os dias que antecedem esta data apresentam radiação solar mais uniforme ao longo do dia, indicando dias parcialmente nublados a nublados.

A temperatura do ar externo, t_e , apresenta uma amplitude de $9,0\text{ }^\circ\text{C}$ para o dia 30 de abril, com temperatura máxima de $22,0\text{ }^\circ\text{C}$. Os dias que antecedem o dia 30 de abril apresentam amplitude de onda de temperatura do ar externo menor, $4,0\text{ }^\circ\text{C}$, $4,0\text{ }^\circ\text{C}$ e $5,0\text{ }^\circ\text{C}$ para os dias 27, 28 e 29 de abril respectivamente. As temperaturas máximas do ar externo são $23,0\text{ }^\circ\text{C}$, $22,0\text{ }^\circ\text{C}$ e $19,0\text{ }^\circ\text{C}$ para os dias 27, 28 e 29 de abril respectivamente. A diferença entre a temperatura de globo, t_{globo} , e a temperatura do ar interno, t_i , é menor do que $1,0\text{ }^\circ\text{C}$ para todos os dias, com exceção do dia 30 de abril, para o dormitório nordeste, em que em três horários a temperatura de globo, t_{globo} , ultrapassa $1,0\text{ }^\circ\text{C}$, atingindo uma diferença máxima de $1,2\text{ }^\circ\text{C}$ em relação à temperatura do ar interno, t_i .

Os valores de atraso térmico, obtidos através dos dados de temperatura do ar externo, t_e , e do ar interno, t_i (BECKER, 1992), verificados para os cômodos do protótipo *Aglotec* entre os dias 26 de abril a 29 de abril, são aproximadamente iguais a 3 horas para todos os cômodos. Para o dia 30 de abril, devido à queda de temperatura, não é possível se identificar o atraso térmico correspondente.

BECKER (1992, p. 51) realiza uma análise da relação entre a amplitude de onda de temperatura do ar externo e a amplitude de onda de temperatura do ar interno, ou seja, do coeficiente de amortecimento, para a seqüência de dias entre 26 de abril e 30 de abril. A diferença máxima entre os coeficientes de amortecimento para os diferentes cômodos e para um mesmo dia é no máximo de $0,1110$ para o dia 30 de abril entre os dormitórios. O coeficiente de amortecimento médio, considerando os três cômodos, é de $0,6551$. Considerando a totalidade de dias não consecutivos constantes no estudo de BECKER (1992, p. 75), o coeficiente de amortecimento médio é de $0,40$. Este valor é menor do que aqueles encontrados através dos cálculos (ver *tabela 3.4, Capítulo 3*) para os fechamentos. O desempenho conjunto da edificação como um todo é melhor do que o desempenho de suas partes tomadas individualmente.

BECKER (1992, p. 74) apresenta o número de horas de desconforto, $\Sigma h_{desconforto}$, para o total de dias em que efetuou medições, ou seja, para dezesseis dias não consecutivos, para o

cômodo sala como referência. Segundo a autora, em cerca de 70,0% do tempo o protótipo *Aglotec* apresenta condições de conforto, ou seja, a temperatura do ar interno, t_i , encontra-se no intervalo de 18,0 °C a 28,0 °C, estipulados pela autora como os limites da zona de conforto. Nos 30,0% restantes, o desconforto ocorre por frio. Ou seja, as temperaturas são inferiores a 18,0 °C. No dia 16 de maio, assumido pela autora como representativo das condições de frio (e que não é considerado no presente estudo), há 15 horas de desconforto, ou seja, mais de 50,0% do dia os usuários da edificação estarão submetidos a condições de desconforto.

BECKER (1992) não apresenta o somatório dos graus-hora, g_{hora} , e graus-médios, $g_{médio}$, para o protótipo *Aglotec* em seu estudo. Os estudos da autora são complementados com valores destas grandezas para o protótipo *Aglotec*, para o conjunto total de dezesseis dias para os quais há medições e para os dias definidos por BECKER (1992, p.56) como representativos das condições de inverno (16 de maio) e de verão (01 de abril), uma vez que apresentam comportamento semelhante aos dias típicos de inverno e verão para Porto Alegre de acordo com a metodologia desenvolvida por SATTLER (1989). A partir dos dados da autora, são encontrados os valores para graus-hora e graus-médios, g_{hora} e $g_{médio}$, indicados na *tabela 4.2*.

Tabela 4.2. Graus-hora g_{hora} e graus-médios $g_{médio}$ para o protótipo *Aglotec*

data	graus-hora g_{hora} (°C)	graus-médios $g_{médio}$ (°C)
28/03 a 24/05 (não consecutivos)	264,40	2,20
16/05 (inverno)	17,00	1,13
01/04 (verão)	0,00	0,00

(Fonte: adaptado de BECKER, 1992, Anexo 2)

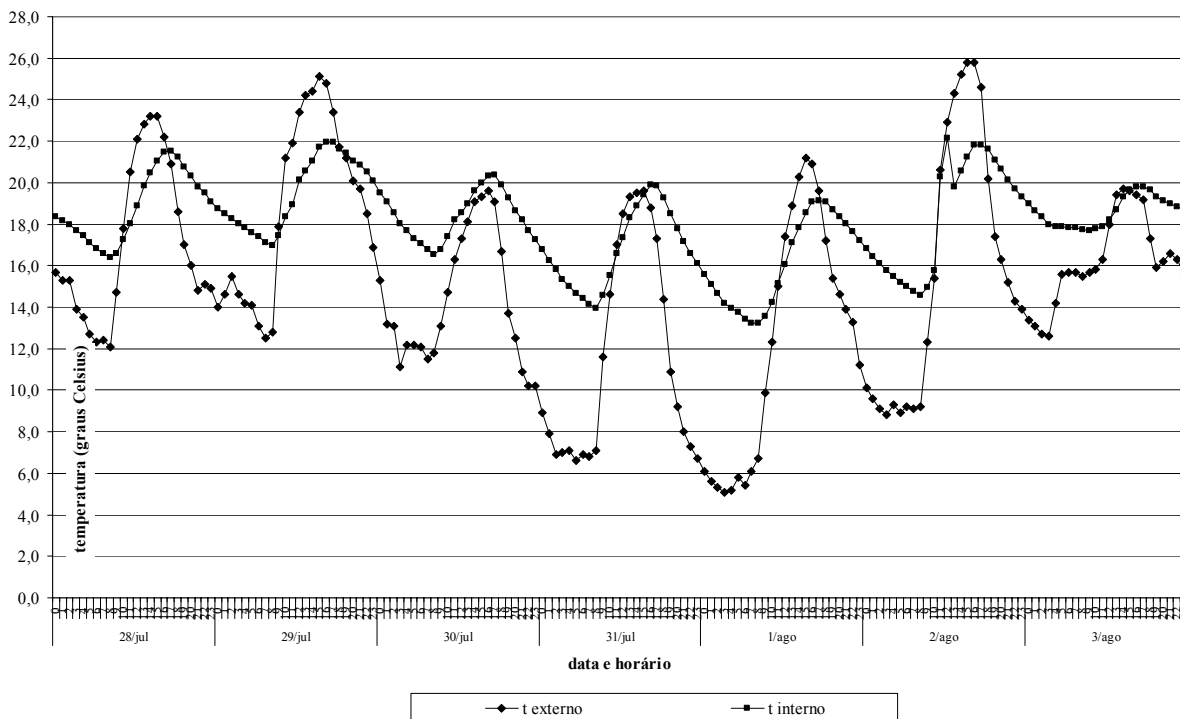
Para o dia 01 de abril, representativo de condições de verão, segundo BECKER (1992), não há temperaturas registradas acima dos 29,0 °C.

4.2 Protótipo Alvorada

Para o protótipo *Alvorada*, MORELLO (2005a) procede a uma análise de duas semanas para cada período do ano caracterizado como inverno, primavera, verão e outono, como já exposto no *Capítulo 2*. Para a semana de inverno com a menor média das mínimas diárias, a temperatura média do ar externo é $9,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, enquanto que a temperatura média do ar interno é $13,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, ou seja, uma diferença de $3,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (MORELLO, 2005a, p. 104). Para a semana de primavera com a menor média das mínimas diárias, a temperatura média do ar externo é $7,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, enquanto que a temperatura média do ar interno é $14,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, ou seja, uma diferença de $7,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (MORELLO, 2005a, p. 117). Para a semana de verão com a maior média das máximas diárias, a temperatura média do ar externo é $25,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, enquanto que a temperatura média do ar interno é $26,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, ou seja, uma diferença de $1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (MORELLO, 2005a, p. 131). Para a semana de outono com a menor média das mínimas diárias, a temperatura média do ar externo é $12,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, enquanto que a temperatura média do ar interno é $16,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, ou seja, uma diferença de $3,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (MORELLO, 2005a, p. 143).

A *figura 4.3* apresenta uma seqüência de dias em que acontecem variações de temperatura do ar externo superiores a $10,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (28 de julho de 2003 a 03 de agosto de 2003). As temperaturas do ar interno, t_i , mantêm-se próximas das temperaturas máximas do ar externo registradas. A temperatura média mínima do ar externo é $11,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (31 de julho), enquanto que a temperatura média mínima do ar interno é $16,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (01 de agosto).

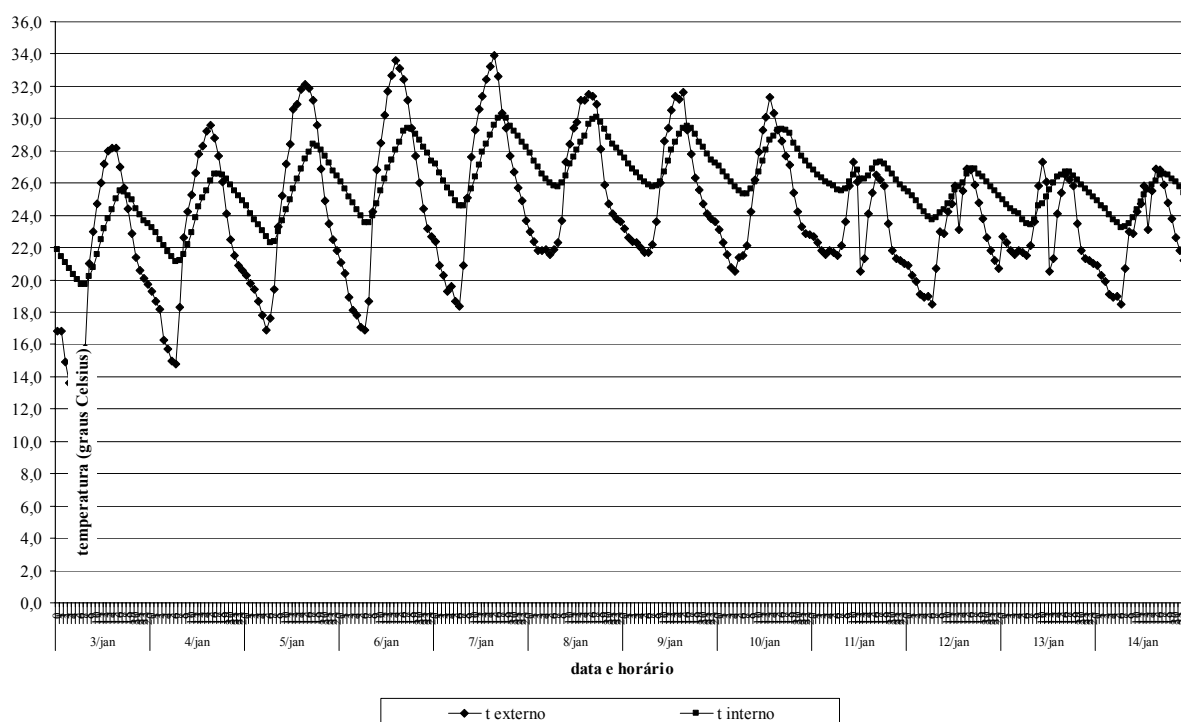
Na *figura 4.3*, a amplitude máxima de onda de temperatura do ar externo é $17,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, enquanto que a do ar interno é $7,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ para o dia 02 de agosto. A temperatura do ar externo, t_e , sofre uma queda a partir do dia 30 de julho. A temperatura máxima do ar interno é praticamente igual à temperatura máxima do ar externo no terceiro e quarto dias da seqüência ($19,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $20,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, $19,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $19,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente), indicando um coeficiente de amortecimento maior para as temperaturas mínimas do ar externo do que para as máximas. A temperatura máxima do ar interno, no dia 01 de agosto, afasta-se da temperatura máxima do ar externo em decorrência da queda registrada para as temperaturas mínimas do ar externo e um aumento da amplitude de onda de temperatura do ar externo (de $13,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ para $16,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre 31 de julho e 01 de agosto).



variáveis	29/jul		30/jul		31/jul		01/ago		02/ago	
	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.
temp. ext. (°C)	25,1	12,5	19,6	11,5	19,6	6,6	21,2	5,1	25,8	8,8
temp. int. (°C)	22,0	17,0	20,4	16,5	19,9	14,0	19,1	13,3	22,1	14,6
atraso térmico (h)	1	1	5	1	1	3	1	4	1	5
amortecimento	0,40		0,48		0,46		0,37		0,45	

Figura 4.3. Comportamento térmico do protótipo Alvorada entre 28 de julho e 03 de agosto de 2003, conforme dados de MORELLO (2005b)

A figura 4.4 apresenta uma seqüência de dias em que acontecem variações de temperatura do ar externo superiores a $10,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (03 de janeiro de 2004 e 14 de janeiro de 2004). Para esta seqüência de dias, a temperatura do ar interno, t_i , mantém-se próxima das temperaturas máximas do ar externo registradas, repetindo o padrão de comportamento ilustrado na figura anterior. Exceção é verificada para os dias 05, 06 e 07 de janeiro, dias com temperaturas máximas do ar externo acima de $32,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. A temperatura média máxima do ar externo para esta seqüência de dias consecutivos é $26,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, (07 de janeiro). A temperatura média máxima do ar interno é $27,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (08 de janeiro). A amplitude máxima de onda de temperatura do ar externo é $16,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (06 de janeiro), enquanto que a amplitude máxima de onda de temperatura do ar interno é $6,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (05 de janeiro). Para esta seqüência de dias considerados quentes, a temperatura do ar interno, t_i , mantém-se praticamente dentro do intervalo de temperaturas da zona de conforto de GIVONI (1992).

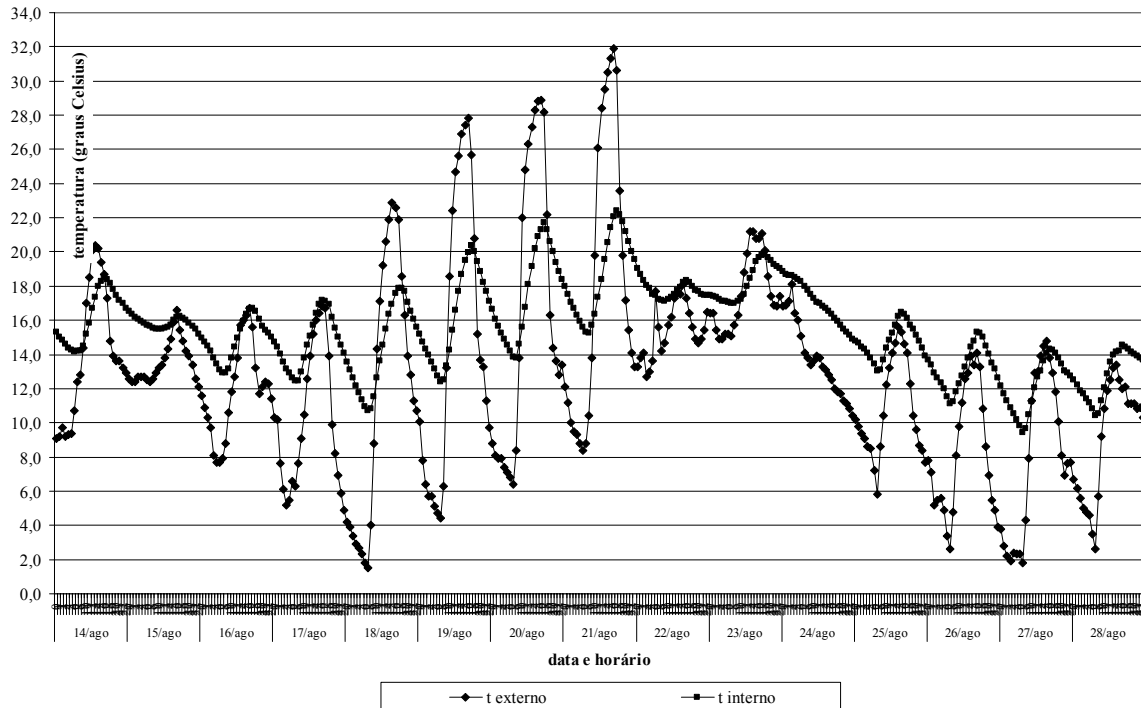


variáveis	03/jan		04/jan		05/jan		06/jan		07/jan	
	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.
temp. ext. (°C)	28,2	12,2	29,6	14,8	32,1	16,9	33,5	16,9	33,9	18,4
temp. int. (°C)	25,5	19,7	26,6	21,1	28,4	22,3	29,4	23,5	30,1	24,6
atraso térmico (h)	1	1	1	0	2	1	3	1	2	0
amortecimento	0,36		0,37		0,40		0,35		0,35	

Figura 4.4. Comportamento térmico do protótipo Alvorada entre 03 de janeiro e 14 de janeiro de 2004, conforme dados de MORELLO (2005b)

A seqüência de dias apresentada na *figura 4.5* é caracterizada por uma elevação da temperatura média do ar externo por cerca de cinco dias (17 a 21 de agosto) seguida de uma queda de temperatura média do ar externo por aproximadamente seis dias consecutivos (22 a 27 de agosto). Nessa seqüência de dias, a temperatura mínima do ar externo atinge valores de 2,6 °C e 1,8 °C nos últimos três dias da seqüência (26, 27 e 28 de agosto). No dia 21 de agosto, a temperatura máxima do ar externo atinge o valor de 31,9 °C e a temperatura mínima do ar externo é 8,4 °C, com uma amplitude de onda de temperatura do ar externo de 23,5 °C. Valores superiores a 20,0 °C de amplitude de onda de temperatura do ar externo também se verificam para os dias 18, 19 e 20 de agosto. A temperatura mínima do ar interno atinge um valor mínimo de 9,4 °C em 27 de agosto, e uma amplitude máxima de onda de temperatura do ar interno de 8,0 °C em 19 de agosto, a temperatura máxima do ar interno assume um valor

máximo de $22,4^{\circ}\text{C}$ em 21 de agosto. A temperatura média do ar interno diária mantém-se sempre acima da temperatura média diária do ar externo.

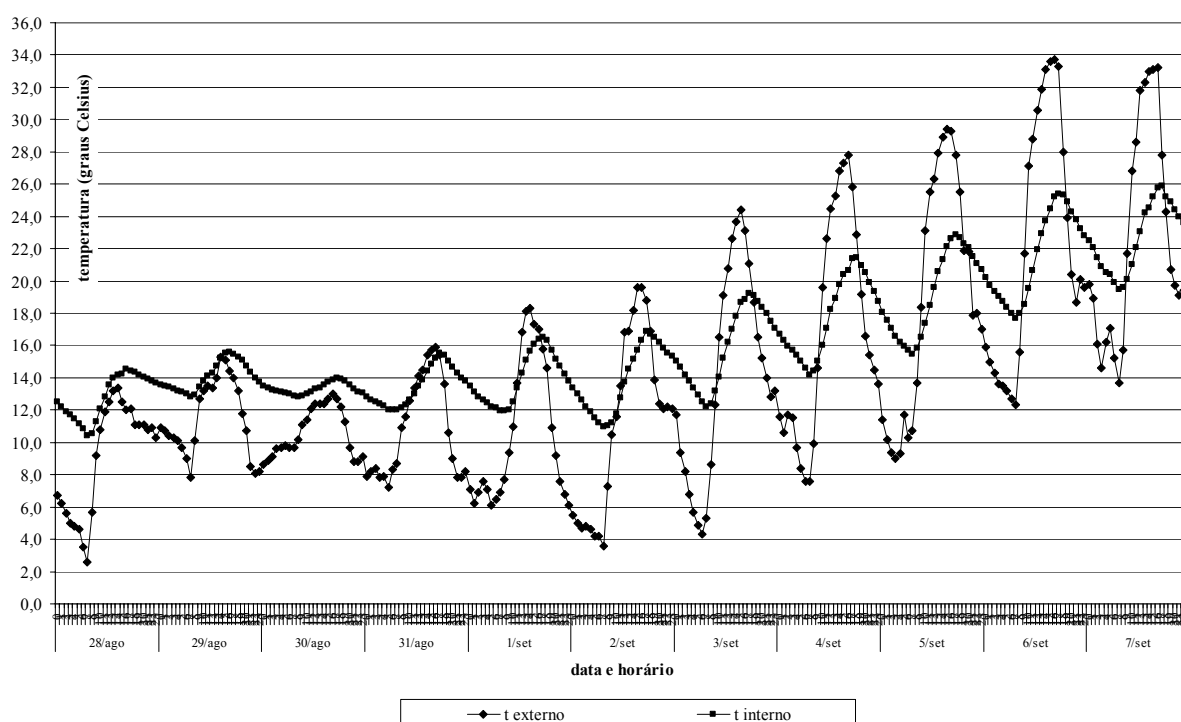


variáveis	16/ago		17/ago		18/ago		19/ago		20/ago	
	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.
temp. ext. ($^{\circ}\text{C}$)	16,7	7,7	16,8	5,2	22,9	1,5	27,8	4,4	28,9	6,4
temp. int. ($^{\circ}\text{C}$)	16,7	12,9	17,2	12,5	17,9	10,7	20,4	12,4	21,7	13,8
atraso térmico (h)	0	1	0	2	2	0	1	0	1	1
amortecimento	0,42		0,41		0,34		0,34		0,35	
variáveis	21/ago		22/ago		23/ago		25/ago		26/ago	
	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.
temp. ext. ($^{\circ}\text{C}$)	31,9	8,4	18,1	12,7	21,2	14,9	15,6	5,8	14,1	2,6
temp. int. ($^{\circ}\text{C}$)	22,4	15,3	18,3	17,1	19,9	17,0	16,5	13,0	15,3	11,1
atraso térmico (h)	1	1	1	6	4	4	1	0	0	0
amortecimento	0,30		0,22		0,44		0,36		0,37	

Figura 4.5. Comportamento térmico do protótipo Alvorada entre 14 de agosto e 28 de agosto de 2003, conforme dados de MORELLO (2005b)

A partir do dia 18 de agosto há uma elevação constante da temperatura do ar externo, t_e , mínima e máxima. Devido à grande amplitude de onda de temperatura do ar externo dos dias 18, 19, 20 e 21 de agosto, acima de 20°C , com redução das temperaturas mínimas do ar externo após 17 de agosto, a temperatura do ar interno, t_i , não se eleva de maneira significativa (mantém-se em boa parte dos horários abaixo dos $18,0^{\circ}\text{C}$, para 18 e 19 de agosto) e apresenta temperatura média inferior à temperatura média do ar externo.

Em 24 horas, ocorre uma queda de temperatura máxima do ar externo de $31,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ para $18,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (dias 21 e 22 de agosto). A partir do dia 24 de agosto, há uma queda constante da temperatura do ar externo, aproximadamente de $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ (às 3 horas) até $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (às 23 horas). A temperatura do ar interno também decresce, no entanto, a diferença entre esta e a temperatura do ar externo aumenta à medida que se verifica a redução desta última (a diferença cresce de $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, às 3 horas, para $4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, às 23 horas). A queda da temperatura mínima do ar externo ocorre a partir do quarto dia após o início do fenômeno de frente fria. A partir deste dia, há quedas da temperatura do ar interno, t_i , com temperaturas mínimas atingindo valores abaixo dos $10,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ em 27 de agosto. As temperaturas médias do ar externo variam de $18,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, em 21 de agosto, para $10,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, em 25 de agosto. As temperaturas médias do ar interno variam de $18,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, em 21 de agosto, para $14,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, em 25 de agosto.



variáveis	02/set		03/set		04/set		05/set		06/set	
	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.
temp. ext. ($^{\circ}\text{C}$)	19,6	3,6	24,4	4,3	27,8	7,6	29,4	9,0	33,7	12,3
temp. int. ($^{\circ}\text{C}$)	16,9	11,0	19,3	12,2	21,5	14,2	22,9	15,5	25,4	17,7
atraso térmico (h)	1	0	1	2	2	1	2	4	1	0
amortecimento	0,37		0,35		0,36		0,36		0,36	

Figura 4.6. Comportamento térmico do protótipo Alvorada entre 28 de agosto e 07 de setembro de 2003, conforme dados de MORELLO (2005b)

A *figura 4.6* permite uma análise de uma onda de calor, onde a temperatura média do ar externo varia de $9,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $22,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, com temperatura máxima do ar externo variando de $13,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (28 de agosto) a $33,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (06 de setembro) e temperatura mínima do ar externo, de $2,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (28 de agosto) a $13,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (07 de setembro). A temperatura média do ar interno varia de $12,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $22,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, com temperatura máxima do ar interno de $25,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, em 07 de setembro, e temperatura mínima do ar interno de $10,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ em 28 de agosto.

Para o protótipo *Alvorada* só é possível a análise comparativa entre a temperatura do ar interno, t_i , e a temperatura de globo, t_{globo} , para o cômodo sala e cozinha, único recinto da edificação onde são feitas medições. MORELLO (2005a) faz esta análise para os quatro períodos em que dividiu o ano das medições *in loco*: inverno, primavera, verão e outono. Para o inverno, a diferença máxima entre a temperatura de globo, t_{globo} , e a temperatura do ar interno, t_i , é de $1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, com o ar apresentando uma temperatura média de $16,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ e o termômetro de globo registrando uma temperatura média de $16,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para a primavera, a diferença máxima entre a temperatura de globo, t_{globo} , e a temperatura do ar interno, t_i , é de $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, com a temperatura de globo, t_{globo} , sempre superior à temperatura do ar interno, t_i , com o ar apresentando uma temperatura média de $21,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ e o termômetro de globo registrando uma temperatura média de $21,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para o verão, a diferença máxima entre a temperatura de globo, t_{globo} , e a temperatura do ar interno, t_i , é de $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, com o ar apresentando uma temperatura média de $25,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ e o termômetro de globo registrando uma temperatura média de $25,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para o outono, a diferença máxima entre a temperatura de globo, t_{globo} , e a temperatura do ar interno, t_i , é de $1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, com o ar apresentando uma temperatura média de $20,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ e o termômetro de globo registrando uma temperatura média de $21,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Como as aberturas do protótipo *Alvorada* estiveram fechadas durante todo o período das medições (MORELLO, 2005a, p. 79), pode-se supor que a velocidade do ar interno é nula ou próxima disto, a temperatura de globo, t_{globo} , podendo ser considerada aproximadamente igual à temperatura radiante média, T_{rm} .

De acordo com os dados não publicados pelo autor, a temperatura de globo, t_{globo} , esteve durante dez dias consecutivos abaixo da temperatura do ar do limite inferior da zona de conforto de GIVONI (1992), à exceção de algumas horas no dia 15 de julho (com provável exceção de alguns pontos não registrados). A temperatura do ar interno, t_i , acompanhou o comportamento da temperatura de globo, t_{globo} . A diferença entre a temperatura de globo, t_{globo}

, e $18,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ atinge o valor de $8,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ para o dia 10 de julho, às 7 horas e para o dia 11 de julho às 7 horas, $8,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ para o dia 12 de julho às 7 horas, $9,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ para o dia 13 de julho às 9 horas.

Para as condições de calor, não se verificam diferenças significativas entre a temperatura de globo, t_{globo} , e a temperatura do limite superior da zona de conforto de GIVONI (1992). As maiores diferenças identificadas dentro do conjunto total de dados em que ocorrem dias consecutivos (acima de três) com temperaturas de globo, t_{globo} , em alguns horários do dia acima de $29,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ atingem o máximo de $3,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ para o dia 14 de abril às 17 horas, $2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ para o dia 15 de abril às 16 horas e $2,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ para os dias 13 e 16 de abril, às 17 horas.

MORELLO (2005a, p. 106, 120, 133, 146) refere-se ao atraso térmico e ao coeficiente de amortecimento do protótipo *Alvorada*. Segundo o autor, a edificação apresenta um atraso térmico variando de 1 a 2 horas em média. Em relação ao coeficiente de amortecimento, este é maior para as temperaturas mínimas do que para as máximas. O coeficiente de amortecimento não é inferior a 0,3500 em média. O autor conclui que o coeficiente de amortecimento apresentado pela configuração do protótipo *Alvorada* é considerável, o que também pode ser constatado das seqüências de dias apresentadas neste estudo. Tal como para o protótipo *Aglotec*, os coeficientes de amortecimento calculados para os fechamentos do protótipo *Alvorada* são maiores do que aqueles verificados a partir das medições in loco.

Segundo MORELLO (2005a, p. 160), para o período em que são efetuadas as medições para o protótipo *Alvorada*, o mesmo apresenta cerca de 66,5% das horas com temperaturas entre $18,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $29,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, ou seja, dentro da zona de conforto de GIVONI (1992). Dos 33,5% restantes, 28,2% são horas de desconforto causadas por frio e 5,3%, horas de desconforto causadas por calor. As percentagens atingidas pelo protótipo *Alvorada* em relação às horas de desconforto podem servir como base para avaliações segundo esse requisito, para as condições climáticas de Porto Alegre.

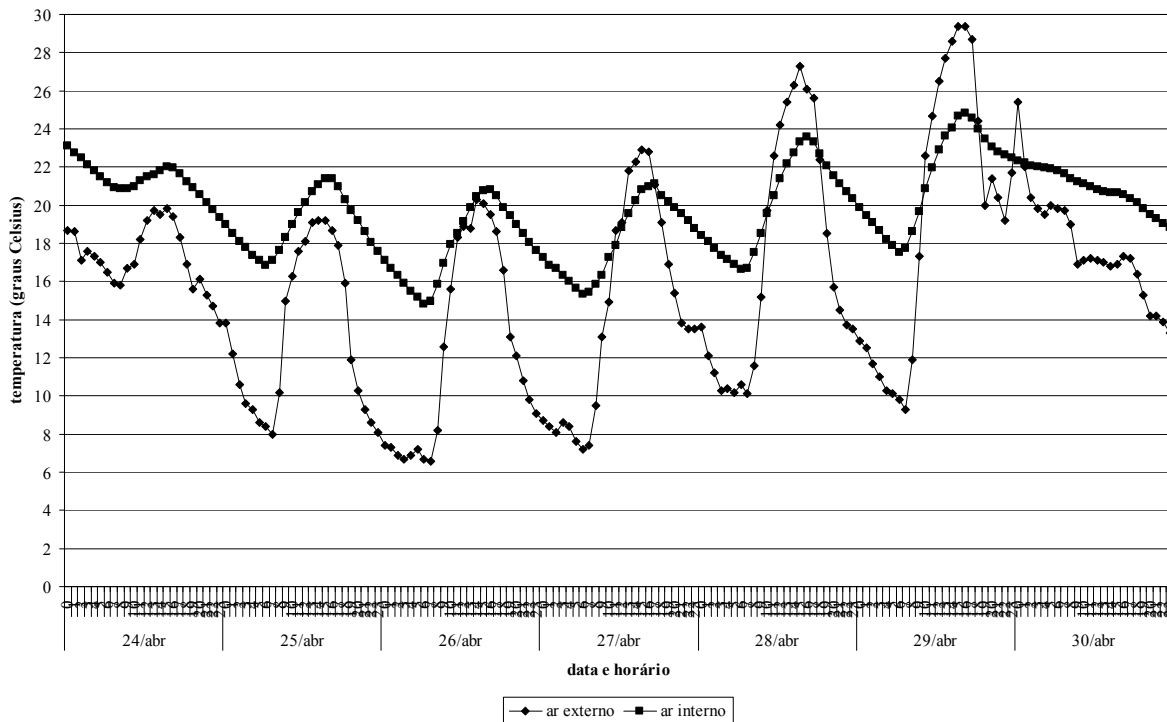
MORELLO (2005a, p. 155) apresenta os valores de graus-hora e graus-médios, g_{hora} e $g_{\text{médio}}$ para refrigeração (situação de verão) e para aquecimento (situação de inverno). Os valores encontrados pelo autor para as temperaturas de base, t_b , de $18,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $29,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, para a situação de inverno e verão respectivamente, são apresentados na *tabela 4.3*.

Tabela 4.3. Graus-hora g_{hora} e graus-médios $g_{\text{médio}}$ para o protótipo Alvorada

situação	graus-hora g_{hora} (°C)	graus-médios $g_{\text{médio}}$ (°C)
inverno (aquecimento)	6.095,90	2,60
verão (refrigeração)	38,90	0,50

(Fonte: adaptado de MORELLO, 2005a, p.155)

Para complementar a análise encaminhada para o protótipo *Alvorada*, é incluída uma seqüência de dias em que a temperatura do ar externo, t_e , esteve próxima aos $7,5^\circ\text{C}$, temperatura mínima do ar externo adotada para fins de cálculo.



variáveis	25/abr		26/abr		27/abr		28/abr		29/abr	
	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.
temp. ext. (°C)	19,2	8,0	20,3	6,6	22,9	7,2	27,3	10,1	29,4	9,3
temp. int. (°C)	21,4	16,8	20,8	14,8	21,1	15,3	23,6	16,7	24,9	17,5
atraso térmico (h)	1	0	1	0	2	0	1	0	1	0
amortecimento	0,41		0,44		0,37		0,40		0,36	

Figura 4.7. Temperatura do ar externo t_e e temperatura do ar interno t_i entre 24 de abril e 30 de abril de 2004 para o protótipo Alvorada, de acordo com MORELLO (2005b)

A seqüência de dias corresponde ao intervalo que se estende de 24 de abril de 2004 a 30 de abril de 2004, contendo valores de temperatura do ar externo e do ar interno, t_e e t_i , conforme dados obtidos de MORELLO (2005b). Os valores medidos para a temperatura estão no *Anexo 3* e a *figura 4.30* apresenta estes dados em forma gráfica. De acordo com a *figura 4.7*, a temperatura do ar interno, t_i , atinge valores mínimos de 16,8 °C, 14,8 °C e 15,3 °C para valores mínimos de temperatura do ar externo, t_e , de 8,0 °C, 6,6 °C e 7,2 °C, para os dias 25, 26 e 27 de abril, respectivamente. A temperatura do ar interno t_i manteve-se aproximadamente 8,0 °C, no mínimo, acima da temperatura do ar externo t_e .

4.3 Discussão de resultados de medições in loco para os protótipos Aglotec e Alvorada

Segundo resultados obtidos por BECKER (1992), o protótipo *Aglotec* apresenta um comportamento térmico favorável para a situação de inverno ou condições de frio, com valores de temperatura do ar interno, t_i , sempre superiores às temperaturas mínimas do ar externo, mantendo-as próximas das máximas registradas no meio exterior. Isto indica uma inércia térmica da edificação elevada, sendo desejável tal comportamento frente a grandes amplitudes de onda de temperatura do ar externo, como as verificadas para Porto Alegre em certos períodos do ano. Não houve diferença significativa entre as temperaturas do ar interno medidas para os diferentes cômodos do protótipo, revelando que, para uma edificação pequena, a temperatura do ar interno tende a se manter homogênea e a escolha da orientação dos cômodos está diretamente relacionada a ser desejável ou não de captação de radiação solar e ventilação natural através de aberturas. De acordo com os resultados obtidos com o método proposto neste estudo, os fechamentos voltados a Norte são os que recebem maior carga térmica durante o dia, na situação de inverno, sendo indicados para os cômodos de permanência dos usuários da edificação. Para a situação de verão, os fechamentos voltados a Oeste, Sudoeste, Noroeste ou Leste são os mais exigidos em relação à carga térmica. Os cômodos voltados a estas orientações, por conseguinte, devem ser projetados segundo seus usos e tempo de permanência dos usuários de acordo com as cargas térmicas a que estarão expostos no período de verão e que possam estar sombreados nesta estação.

Algumas superfícies apresentam temperaturas superficiais internas, t_{si} , com diferença superior a $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre si. Esta é a situação, por exemplo, do forro e das paredes, o que vai ao encontro dos resultados desfavoráveis encontrados para a cobertura através dos cálculos efetuados. Tanto a temperatura superficial interna, t_{si} , quanto a temperatura de globo, t_{globo} , estão relacionadas à resistência térmica total, R_T , dos fechamentos. Considerando os critérios apontados por BECKER (1992, p. 80) para estas duas variáveis, é necessário aumentar a resistência térmica total, R_T , da cobertura. Os resultados apontam temperaturas mais elevadas para os fechamentos de menor resistência térmica e voltados às orientações aproximadamente leste e oeste, sendo que a cobertura foi a que apresentou maior diferença de temperatura superficial em relação às outras superfícies, corroborando a importância deste fechamento no desempenho térmico da edificação. No entanto, o fato da edificação ficar fechada durante o período das medições e possuir grandes superfícies envidraçadas (que permitiram a entrada de radiação solar e seu acúmulo em partições internas) pode ser responsável pelo bom desempenho verificado para a edificação principalmente no período classificado pela autora como frio, uma vez que o protótipo apresentou um coeficiente de amortecimento de onda de temperatura do ar externo elevado, da ordem de $0,40$.

Para o piso, BECKER (1992, p. 78) verifica que o mesmo apresenta temperatura superficial interna, t_{si} , abaixo de $18,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, o que pode causar desconforto aos usuários da edificação. No entanto, não se justifica uma imposição à temperatura superficial do piso muito rígida, uma vez que as pessoas, em geral, andam calçadas, e o desconforto devido à radiação térmica é pequeno comparado ao efeito das demais superfícies que limitam o ambiente.

Quanto ao protótipo *Alvorada*, este apresenta uma grande capacidade de amortecimento da amplitude de onda de temperatura do ar externo e a manutenção das temperaturas do ar interno, t_i , próximas das máximas registradas no meio exterior. Este comportamento é desejável para uma situação de inverno. O comportamento descrito pode indicar a capacidade térmica total, C_T , dos fechamentos. Também está relacionada à massa térmica da edificação como um todo. Neste caso, os parâmetros coeficiente de superfície pesada equivalente, $coef_{SPE}$, e efusividade térmica do ambiente, ef_{amb} , são indicativos de seu comportamento. Valores médios para estes parâmetros térmicos são desejáveis, de acordo com os resultados obtidos pelas medições *in loco*. No entanto, tal como o protótipo *Aglotec*, o protótipo *Alvorada* não esteve ocupado durante as medições. O uso da habitação pode alterar significativamente os resultados obtidos (fontes de calor internas, mobiliário, abrir e fechar de

aberturas, entre outras ações ligadas aos hábitos dos moradores). Além disso, o protótipo *Alvorada* apresenta um comportamento térmico mais desfavorável para a situação de inverno, com maior número de horas de temperatura do ar interno abaixo do limite inferior da zona de conforto. A correção deste comportamento, sem comprometer o bom comportamento térmico verificado para a situação de verão, implica em aumentar ganhos de calor através da radiação solar direta sobre fechamentos e partições internas no inverno, e proteger tais fechamentos e partições no verão. Esta estratégia é prevista no projeto do protótipo através do sombreamento da parede voltada a Oeste com o uso de uma pérgula e beirais mais amplos na orientação norte. Algumas características dos fechamentos do protótipo *Alvorada* podem ser ajustadas, tais como a capacidade térmica total, C_T (e conseqüentemente o atraso térmico, φ , e o coeficiente de amortecimento, μ) desses fechamentos, sua massa térmica, representada através do, $coef_{SPE}$, e a efusividade térmica do ambiente, ef_{amb} , que indica o acúmulo de calor nas partições internas e fechamentos devido aos ganhos internos de calor, a fim de melhorar seu comportamento térmico no inverno.

A temperatura do ar interno, t_i , para a seqüência representada pela *figura 4.3*, caracterizada por condições de radiação solar máxima em torno de $600W/m^2$ a $700W/m^2$, com simetria nítida em relação às 12 horas, indicando dias com céu claro a parcialmente encobertos, mantém-se entre $12,0\text{ }^\circ\text{C}$ a $18,0\text{ }^\circ\text{C}$ aproximadamente, ficando sempre abaixo do limite inferior da zona de conforto de GIVONI (1992). Este comportamento pode estar relacionado às pequenas aberturas disponíveis para captação de radiação solar para o interior da edificação, para fins de acúmulo de calor em partições internas. Um aumento das aberturas voltadas a Norte poderia contribuir para estes ganhos e aumentar a temperatura do ar interno t_i no período da noite.

Em relação ao atraso térmico, a temperatura máxima do ar interno é atingida aproximadamente ao final da tarde, com no máximo duas horas de defasagem da temperatura máxima registrada no meio exterior, ou seja, entre 16 e 17 horas. Já as temperaturas mínimas acontecem no meio interior entre 7 e 8 horas. O atraso térmico verificado para as máximas pode ser alterado para que tais máximas ocorram ao cair da tarde, em torno de 17 a 18 horas, ou seja, em torno de 3 horas de atraso térmico, valor ainda abaixo do máximo recomendado pela ABNT (2005c, p. 6).

Para a seqüência de dias consecutivos com variação da temperatura do ar externo, t_e , superior a $10,0\text{ }^\circ\text{C}$ para uma situação de verão, intervalo entre 03 de janeiro a 10 de janeiro, indicada na *figura 4.4*, o protótipo *Alvorada* apresenta um amortecimento da amplitude de onda de temperatura do ar externo entre 0,35 e 0,43, e um atraso térmico de aproximadamente 2 horas. Os horários em que ocorrem temperaturas máximas do ar interno estão muito próximos dos horários em que ocorrem as temperaturas máximas do ar externo. Estas poderiam estar mais defasadas entre si. Com temperaturas máximas do ar externo em torno das 14 e 15 horas, as máximas temperaturas do ar interno poderiam ocorrer ao final da tarde, entre 18 e 19 horas, quando é possível contar com a ventilação natural com temperaturas do ar externo, t_e , mais baixas. Ou seja, um atraso térmico da ordem de 4 horas. Para os sete dias da seqüência analisada em que a temperatura máxima do ar externo esteve acima de $29,0\text{ }^\circ\text{C}$ (limite superior de temperatura da zona de conforto de GIVONI), a temperatura máxima do ar interno atingiu valores superiores a este em cinco dias, atingindo um valor máximo de $30,1\text{ }^\circ\text{C}$. Nestes dias, as amplitudes de onda do ar externo são aproximadamente iguais ou superiores a $10\text{ }^\circ\text{C}$, chegando a atingir uma amplitude de $16,7\text{ }^\circ\text{C}$ em 06 de janeiro. A partir da análise deste comportamento, a estratégia de sombreamento da parede oeste pode ajudar a reduzir e defasar estes valores. Está estratégia não estava implantada durante o período de medições. O resfriamento noturno da edificação, através da ventilação também é uma estratégia importante para amenização das condições internas da edificação no período diurno. Como a edificação esteve fachada durante o período das medições encaminhadas por MORELLO (2005a, p.79), não é possível analisar sua eficiência. Segundo MORELLO (2005a, p. 130), existem muitos dias no período por ele classificado como verão em que se verificam amplitudes de temperatura da ordem de $10,0\text{ }^\circ\text{C}$ a $15,0\text{ }^\circ\text{C}$, justificando uma preocupação com a inércia térmica da edificação para resfriamento, tal como proposto por PAPST (1999) para clima subtropical.

As figuras correspondentes às frentes frias e às ondas de calor, *figuras 4.5 e 4.6*, indicam uma resposta rápida da edificação às quedas de temperatura do ar externo e uma resposta mais lenta em relação aos aumentos de temperatura. Este comportamento está diretamente relacionado à capacidade de armazenar calor da edificação, como já discutido anteriormente, ou seja, à capacidade térmica total, C_T , dos fechamentos e da edificação como um todo, e a possibilidade de acúmulo de calor no seu interior, o que já foi comentado não acontecer de forma plena para o protótipo *Alvorada*. A pouca espessura dos fechamentos opacos (paredes)

faz com que o mesmo responda de forma rápida às quedas de temperatura do ar externo, t_e , embora apresente um coeficiente de amortecimento significativo e manutenção das temperaturas do ar interno, t_i , próximas das máximas temperaturas registradas no meio exterior, que pode estar associado ao fato do protótipo ser mantido fechado. Numa situação como a representada por estas seqüências, com amplitude de onda de temperatura do ar externo superiores a $10,0\text{ }^\circ\text{C}$ (a partir do quarto dia do início do fenômeno de frente fria), a possibilidade de aquecimento solar passivo associado à inércia térmica da edificação pode amenizar as condições térmicas internas da edificação.

No que diz respeito às ondas de calor, a edificação apresenta uma resposta mais lenta ao aquecimento do ar externo. Este fenômeno ocorre quando ocorrem grandes amplitudes de onda de temperatura do ar externo, como ilustrado na *figura 4.6*, onde amplitudes de onda de temperatura do ar externo acima de $15\text{ }^\circ\text{C}$ acontecem em quatro dias consecutivos no mínimo. Estes dias são antecidos por seqüências de dias com menores amplitudes e temperaturas máximas do ar externo mais amenas ou frias, o que pode explicar o fenômeno, juntamente com o fato de a mesma estar fechada.

O número de horas por desconforto, $\Sigma h_{desconforto}$, encontrado para o protótipo *Aglotec*, por BECKER (1992, p. 74) é levantado a partir de um período muito curto de medições, sendo que estas estão concentradas em um período limitado do ano (início do outono). O número de horas de desconforto encontrado por BECKER está acima dos 10% ou 1.000 horas de desconforto preconizado por BARBOSA (1997, p. 217). MORELLO (2005a, p. 160) registra um total de 2.749 horas de desconforto, ou 33,5% do total de horas em que são feitas medições, indicando também um desempenho aquém do preconizado por BARBOSA (1997, p. 217). O protótipo *Alvorada* apresenta um comportamento térmico mais desfavorável para a situação de inverno do que de verão. Considera-se que no máximo admite-se um número de horas que não possa ser resolvido através de estratégias bioclimáticas que sejam as de maior eficiência indicada pela carta bioclimática de Porto Alegre. Ou seja, as horas de desconforto por frio (situação de inverno), para Porto Alegre, podem ser resolvidas em 33,7% através do uso de massa térmica para aquecimento, enquanto que as horas de desconforto por calor (situação de verão) podem ser resolvidas em 23,4% através da ventilação natural. Considerando que o ambiente externo apresenta 22,4% das horas de conforto térmico, o total de horas de conforto que pode ser proporcionado pela edificação, através do uso de estratégias bioclimáticas adequadas, é igual a 79,5%. Logo, o número de horas de desconforto

admissíveis, considerando válida a zona de conforto estipulada por GIVONI (1992) para Porto Alegre, é equivalente a 20,5% das horas totais do ano climático de referência. Tanto o protótipo *Aglotec* quanto o protótipo *Alvorada* não satisfazem a este critério. No entanto, considera-se que as horas de desconforto atingidas pelo protótipo *Alvorada* podem ser uma referência inicial para este parâmetro, ou seja, horas máximas de desconforto admissíveis de 33,5%.

Quanto aos graus-hora e graus-médios, g_{hora} e $g_{médio}$, o período de medições impõe restrições na consideração dos resultados atingidos pelo protótipo *Aglotec*. São considerados apenas os resultados atingidos pelo protótipo *Alvorada*, que servirá como critério para avaliação inicial deste parâmetro térmico.

Para a seqüência de dias em que a temperatura mínima do ar externo esteve próxima de 7,5 °C, valor tomado com temperatura do ar externo, t_e , de inverno para fins de cálculo no método adotado neste estudo, indicada na *figura 4.7*, em três dias da seqüência, a temperatura mínima do ar interno atingiu valores de 16,8 °C, 14,8 °C e 15,3 °C. Estes valores são inferiores ao limite inferior para temperatura da zona de conforto preconizada por GIVONI (1992). No entanto, considerando a ocupação interna da edificação, num período da madrugada, em que aberturas estão fechadas não há perdas por ventilação (pelo abrir e fechar de aberturas), o comportamento do protótipo é considerado razoável. Considerando a temperatura mínima do ar interno proposta por ABNT (2004a) de 12,0 °C, os valores estão acima desta referência.

Em relação aos dados coletados por MORELLO (2005a) em um ano, a temperatura do ar externo, t_e , no período de verão (meses de dezembro, janeiro e fevereiro), mantém-se relativamente estável no que tange a sua variação diária. Já para o restante do ano, há grande descontinuidade nos dados, com períodos de calor seguidos por períodos de frio, sejam mudanças repentinas ou não. Ou seja, a edificação parece ser mais exigida para condições de outono, inverno e primavera, por estas apresentarem-se altamente mutáveis, do que para condições de verão. Torna-se difícil encontrar uma solução arquitetônica que responda a tamanha instabilidade de condições climáticas em curto espaço de tempo. Se, no verão, há necessidade de uma edificação protegida da radiação solar, com entorno arborizado para diminuir a temperatura do ar externo, t_e , antes da mesma penetrar na edificação, no inverno é desejável o máximo aproveitamento da radiação solar, inclusive a captação por vias indiretas (absorção através de superfícies externas e a posterior emissão por onda longa de radiação).

Analisando a carta bioclimática para Porto Alegre, o número de horas de desconforto é maior para o período frio, com cerca de 51,6% das horas totais com desconforto por frio, enquanto que por calor há 25,9% de horas de desconforto. Considerando esse argumento, a solução para situação de inverno deveria ser priorizada.

4.4 Considerações finais do capítulo

Para as medições *in loco* apresentadas para os protótipos *Aglotec* e *Alvorada*, não se faz uma comparação dos resultados com os cálculos matemáticos efetuados para os dois protótipos devido a disparidades entre simulações e medições. As medições são obtidas em um curto período de tempo (um ano para o protótipo *Alvorada*). O período de medições, embora de acordo com as características históricas do tempo registradas, pode ter sofrido interferências que apenas medições por períodos de tempo mais longos podem anular. Já as simulações consideram simplificações do fenômeno físico real. Em relação à análise comparativa dos dois protótipos, alguns aspectos envolvidos nas medições *in loco*, tais como o período em que são feitas as medições, local da implantação dos protótipos e formas de encaminhamento das medições diferem entre si, impedindo uma comparação mais acurada dos resultados obtidos.

5 LEVANTAMENTO DE CAMPO JUNTO A AGENTES E ESPECIALISTAS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos com o levantamento de campo encaminhado junto a agentes do setor público ligados à habitação de interesse social em Porto Alegre (grupo 1) e junto aos especialistas na área de conforto térmico atuando em instituições de pesquisa e ensino nacionais (grupo 2).

5.1 Embasamento do levantamento de campo

Algumas questões gerais relativas ao tema e o método proposto são apresentados a dois grupos de agentes e especialistas com o objetivo de validar o mesmo. Seguindo os preceitos éticos que orientam pesquisas que envolvem participantes que expressam opiniões baseadas em sua experiência profissional sobre determinados assuntos, o anonimato dos entrevistados é mantido (LAKATOS, 1991, p.196; TRIVIÑOS, 1987, p. 145; LÜDKE & ANDRÉ, 1986, p. 35). Desta forma, os entrevistados são identificados por números e não fica explícito o órgão, empresa pública ou instituição a qual pertencem, ficando o registro apenas para controle pessoal do pesquisador.

5.1.1 Grupo 1

A escolha do grupo de agentes é feita em função de sua atuação profissional. São selecionados órgãos e empresas públicas atuando no financiamento, projeto, construção, fiscalização e avaliação de habitações de interesse social em Porto Alegre.

Devido ao caráter das informações e discussões buscadas com o contato feito com o primeiro grupo formado pelos agentes, ou seja, levantamento de problemas referentes a habitações de interesse social verificados pelos entrevistados em sua prática profissional, apresentação do método e discussão pautada no conhecimento dos entrevistados, optou-se pela abordagem

descrita por GIL (2002), LAKATOS (1991), TRIVIÑOS (1987) e LÜDKE & ANDRÉ (1986). Esta abordagem baseia-se em entrevista semi-estruturada com diálogo reflexivo, onde um conjunto de questões foi definido para orientar a entrevista e o levantamento de dados junto ao entrevistado, permanecendo certa flexibilidade para permitir que o mesmo expresse com maior liberdade sua opinião sobre o assunto. *O Anexo 5* apresenta os subsídios e ferramentas de campo utilizados para condução das entrevistas com o primeiro grupo, chamados de agentes.

Junto a agentes atuando no setor público são levantados os dois projetos-referência apresentados neste capítulo e analisados no *Capítulo 4* que segue. Um dos projetos analisados é padrão adotado por alguns órgãos para a região de Porto Alegre e interior do estado. O outro projeto é apontado como uma solução não aconselhável do ponto de vista do desempenho higrotérmico, pois, ao longo da experiência dos órgãos consultados, na adoção deste modelo, muitos problemas foram verificados.

Além da verificação dos valores de referência, as entrevistas buscam a opinião dos agentes sobre os parâmetros propostos e os seus pesos relativos, ou seja, sua relevância frente à prática e experiência desses órgãos e empresas públicas, os principais problemas que eles têm verificado em sua prática profissional, relativos a habitações de interesse social, bem como os custos aproximados desse tipo de habitação.

5.1.2 Grupo 2

Os especialistas da área de conforto térmico são ligados a instituições de pesquisa e ensino no Brasil e são selecionados a partir de seus currículi vitae, disponível no formato Lattes, na página da CAPES, segundo sua formação na área de conforto térmico. Os mesmos são contatados através de correio eletrônico. A partir dos levantamentos e análises encaminhadas para os quatro projetos, os requisitos e critérios propostos são ajustados e ponderados, apresentando-se a proposta final do método.

Para esse segundo grupo, formado por especialistas, é aplicado um questionário de perguntas abertas e fechadas, de acordo com alguns pontos específicos sobre os quais a opinião de tais especialistas é desejada. Os questionários são enviados via correio eletrônico. e estruturam-se

em duas partes: questões gerais sobre a experiência do especialista no tema do estudo e no desempenho higrotérmico de edificações em geral, questões específicas sobre os parâmetros térmicos propostos no método. Juntamente com o questionário, segue um documento sobre o clima de Porto Alegre e uma apresentação resumida do método proposto. Questionário e anexo seguem junto à mensagem enviada via correio eletrônico. No *Anexo 5* encontra-se o modelo do questionário destinado a esse grupo.

Os especialistas ligados ao ensino e pesquisa na área de conforto térmico de edificações, atuando em diferentes regiões do Brasil, são consultados quanto à relevância dos parâmetros adotados e os procedimentos de cálculo destes parâmetros. Também é buscada a opinião a respeito dos pesos relativos dos parâmetros térmicos propostos.

5.2 Resultados obtidos junto ao grupo 1

Sete agentes, ligados a órgãos e empresas públicas, são contatados (financiamento, projeto, construção, fiscalização e avaliação de habitações de interesse social em Porto Alegre), a fim de levantar os principais problemas verificados com habitações de interesse social nesta realidade, no que diz respeito ao desempenho higrotérmico destas habitações, de buscar referências da prática destes órgãos (tipologias consagradas) e de levantar os custos aproximados dessas habitações. O primeiro entrevistado foi considerado como estudo-piloto para teste do instrumento de levantamento, como não houve ajuste no instrumento, a entrevista concedida faz parte dos resultados obtidos com a pesquisa. Os resultados obtidos estão expostos na *tabela 5.1*. Outras reflexões feitas pelos entrevistados são apresentadas nos parágrafos que seguem a tabela. Uma entrevista não é apresentada na *tabela 5.1*, mas apenas nas considerações gerais sobre o tema.

Em relação ao método proposto nesta pesquisa, os agentes entrevistados consideraram relevante a proposta de método, porém não se aprofundam na análise dos parâmetros térmicos propostos. Consideraram, de forma geral, que os problemas previstos através da análise dos parâmetros térmicos são importantes, mas alguns salientam as limitações de inserir uma dificuldade a mais em sua rotina de trabalho, já comprometida com a sobrecarga de atividades e os prazos a serem vencidos em decorrência do curto período existente entre a liberação de recursos e a construção das habitações.

Tabela 5.1. Respostas obtidos junto aos agentes do grupo 1

N.	atividade (tempo de experiência)	problemas constatados	problemas projetuais	procedimento ou método utilizado	opinião sobre método	requisitos sugeridos	custos aproximados
A1	execução e fiscalização (5 anos)	não indicou problemas	projeto não indica orientação solar, adaptação à topografia ou lote recomendado	necessidade da existência de argamassa de revestimento interna e externa	limitações devido à rotina de trabalho	recomendações sobre a implantação da unidade no lote para otimizar a orientação solar	280,00 R\$/m ² (materiais e mão-de-obra)
A2	projeto e execução (28 anos)	excesso de calor ou de frio	cobertura sem forro	espessura de paredes e camadas de cobertura	limitações devido à rotina de trabalho	recomendações para ventilação cruzada	333,00 R\$/m ² (materiais e mão-de-obra)
A3	financiamento (29 anos)	não indicou problemas	-	beirais e tipo de telha, sistemas construtivos consagrados	-	normas ABNT como referência	5.000,00 R\$ (mínimo para materiais por unidade)
A4	avaliação (23 anos)	excesso de calor ou de frio, condensação em telhas e paredes	projeto não respeita características térmicas dos materiais, orientação solar	programas computacionais	não incluem a opinião dos usuários, muito complexos	simplicidade para tornar acessível a um maior número de agentes possível	-
A5	projeto e execução (12 anos)	umidade excessiva em paredes cegas voltadas a Sul	orientação solar, áreas para construção inadequadas (pantanosas ou alagadiças)	não utiliza	limitações devido à rotina de trabalho	testar desempenho térmico de várias soluções	260,00 R\$/m ² (materiais e mão-de-obra)
A6	projeto e execução (21 anos)	não indicou problemas	não indicou problemas	laje de concreto e telha, venezianas, revestimento externo em argamassa, ventilação ático cobertura, paredes claras, orientação solar, vegetação para sombreamento do entorno	não manifestou opinião	análise de posição de aberturas para ventilação, análise da compartimentação, análise de custos	280,00 R\$/m ² (materiais e mão-de-obra)

A grande parte dos recursos públicos aplicados em habitação de interesse social é a fundo perdido. Estes recursos contemplam famílias sem renda ou com renda máxima de cinco salários-mínimos. Os recursos não são destinados a suprir um número fechado de moradias, o que leva, muitas vezes, ao poder público optar por um número maior de moradias contempladas com o mesmo recurso total. Ou seja, um número maior de famílias é atendido. Esta prática faz com que as moradias possuam ou área menor, ou que sejam entregues sem algum acabamento, tais como forro, revestimentos em argamassa (interna ou externa), pisos cerâmicos e até mesmo vidros de janelas.

O poder público responsável pelo projeto possui, em geral, uma equipe técnica composta por poucos engenheiros e arquitetos (desenvolvendo projetos de arquitetura e seus complementares e orçando custos da construção), o que faz com que haja um conjunto de projetos padronizados que são repetidos independentemente do local de implantação das habitações. Os agentes entrevistados têm consciência de que esta limitação faz com que não se alcance uma melhor qualidade do ponto de vista do conforto térmico dos usuários, considerando a adequação do projeto às especificidades ambientais localizadas (cultura de morar do usuário, topografia, orientação solar, entorno, características do lote, entre outros).

Outra questão apontada pelos agentes é a inexistência de uma avaliação pós-ocupação completa, incluindo questões de conforto ambiental, como forma de retro-alimentar a equipe de projetos. Algumas avaliações são feitas, mas apenas voltadas para patologias construtivas verificadas ou má qualidade de componentes da edificação, que são os problemas mais evidentes e, portanto, incomodam mais os moradores (rachaduras, infiltrações de ar, fechamento de aberturas, entre outros). Além disso, segundo os entrevistados, como a maioria da população beneficiada vem de condições de moradia extremamente precárias, sua referência em relação ao conforto térmico é bastante limitada, fazendo com que se satisfaçam, pelo menos nos anos iniciais, com a qualidade obtida com a nova moradia.

Nos casos em que o poder público, devido à limitação de recursos, entrega a moradia incompleta para o usuário, alguns agentes apontam a importância de haver um manual do usuário que oriente este a complementar, ao longo do tempo, melhorias na habitação, tais como acrescentar forro, revestimento interno de argamassa, acabamentos de pisos e pinturas e o próprio tratamento do lote como um todo.

Em geral, não é seguido nenhum método ou procedimento explícito para averiguação das condições de conforto térmico dos futuros usuários ou desempenho higrotérmico da habitação. Os agentes entrevistados julgam importante este requisito, mas consideram que a satisfação deste implicaria custos mais elevados da edificação (maiores espessuras e/ou maior número de camadas de paredes e coberturas, por exemplo). Os agentes, a partir de sua experiência profissional, seguem, em nível de concepção de projeto, prescrições qualitativas para a envolvente da edificação, tais como materiais, camadas e espessuras mínimas para paredes e coberturas, orientação de aberturas para permitir ventilação cruzada, presença de proteção opaca em aberturas envidraçadas, cores de paredes, entre outros. As esquadrias sempre são pintadas em cores escuras para reduzir a manutenção devido ao desgaste e sujeira. Uma diretriz apontada por um dos agentes diz respeito aos empreendimentos que incluem a urbanização, nos quais a arborização das vias públicas tem, entre outros, o objetivo de melhorar as condições do microclima através do sombreamento dos revestimentos das vias públicas e da amenização da temperatura do ar externo. Alguns agentes expressam a necessidade de procedimentos de averiguação do desempenho térmico que sejam facilmente aplicáveis, que não dependam do aprendizado de programas computacionais de simulação complexos, que demandariam um tempo longo de aplicação. Em sua rotina de trabalho, necessitam de respostas rápidas para as dúvidas que surgem durante a concepção do projeto e a avaliação de propostas, tais como uma interface com a representação gráfica digitalizada do projeto, um sistema de simples conferência de aspectos contemplados ou uma análise cruzada de custo-benefício das possíveis soluções. Um dos agentes informa que a adoção de soluções consagradas pelo uso tem servido de padrão para a aprovação de soluções inovadoras, cujo desempenho deve, no mínimo, equiparar-se ao da solução tradicional.

Há concordância entre alguns agentes quanto à configuração de habitação menos favorável em relação ao desempenho higrotérmico da habitação. Os agentes não indicam um projeto arquitetônico, mas características dos fechamentos opacos e transparentes que não aconselham serem adotados. Tais características são paredes de concreto de 5cm de espessura acompanhadas de cobertura em telha de fibrocimento de 5mm, sem forro. Janelas sem proteção opaca, tal como venezianas. Segundo sua experiência profissional, tal configuração revela-se problemática a ponto dos órgãos públicos não adotarem mais tais subsistemas.

Alguns agentes comentam que os programas de moradia popular no Brasil não se destinam apenas a populações sem renda, com baixa renda ou oriundos de sub-habitação. Existem casos

de pessoas ou famílias que vivem em habitações de boa qualidade do ponto de vista de conforto térmico, mas de aluguel, co-habitando com familiares ou vivendo em edículas de fundo de lote alugadas juntamente com a família proprietária. Estas pessoas possuem um grau de exigência diferente dos usuários sem renda ou de baixa renda e é necessário contemplar suas necessidades. Os investimentos não são a fundo perdido. O candidato à moradia entra em programas de financiamento do governo. Neste caso, o padrão de qualidade das moradias é mais elevado, pois não tem caráter emergencial e os recursos não são limitados ao disponibilizado pelo estado. Outra situação, ligada às populações sem renda ou de baixa renda, são as organizações de cooperativas, que permitem que tais populações reúnam recursos próprios, os quais, somados aos recursos públicos, permitem uma melhor qualidade do produto final. Essa prática tem, segundo alguns agentes, apresentado bons resultados.

5.3 Resultados obtidos junto ao grupo 2

Vinte e dois especialistas da área de conforto térmico de edificações foram solicitados a expressar sua opinião a respeito do método proposto neste trabalho: relevância dos parâmetros propostos (ponderação), procedimentos de cálculo e problemas verificados em sua prática profissional. Dentre esses, seis responderam ao questionário proposto. O primeiro questionário aplicado serviu para o ajuste do instrumento de coleta de dados. Os resultados obtidos com este especialista são apresentados juntamente com o conjunto dos demais resultados, uma vez que o instrumento não sofreu alterações no conteúdo, apenas no formato. A *tabela 5.2* apresenta os resultados obtidos para algumas questões gerais apresentadas aos especialistas.

As lacunas, na tabela, indicam que o especialista não manifestou opinião sobre o assunto. Um dos especialistas comenta a necessidade do uso de métodos nacionais padronizados para avaliação de desempenho de edificações, a fim de proporcionar a troca de experiências e resultados, bem como a implementação de um banco de dados nacional com avaliações e soluções empreendidas por diferentes instituições de pesquisa.

Tabela 5.2. Respostas obtidos junto aos especialistas do grupo 2

N.	atividade (tempo de experiência)	procedimento ou método usado	qualidades	fraquezas
E1	Doutor, ensino, pesquisa (10 anos)	medições in loco de variáveis ambientais, normas da ABNT, análise das horas de desconforto promovidas pela edificação	-	falta de valores de referência para as condições internas de temperatura, considerando as condições externas
E2	Doutor, ensino, pesquisa (10 anos)	simulações do comportamento térmico da edificação com programas computacionais, normas da ABNT, análise das horas de desconforto promovidas pela edificação	-	-
E3	Doutor, ensino, pesquisa, interesse informal (14 anos)	medições in loco de variáveis ambientais, simulações do comportamento térmico da edificação com programas computacionais; análise das horas de desconforto promovidas pela edificação	medições in loco mais próximas da situação real	resistência dos usuários em permitir monitoramento; falta de flexibilidade dos programas computacionais na caracterização da envolvente; simplificações e limitações inerentes aos programas de simulação computacionais
E4	Doutor, ensino, pesquisa, consultoria (18 anos)	simulações do comportamento térmico da edificação com programas computacionais; análise das horas de desconforto promovidas pela edificação	-	sem interface gráfica com programas de desenho; sem simulação da compartimentação; permitir apenas análise a partir da zona de conforto e simular insolação
E5	Doutor, ensino, pesquisa, avaliação (13 anos)	simulações do comportamento térmico da edificação com programas computacionais; análise das horas de desconforto promovidas pela edificação	-	sem interface gráfica com programas de desenho; não permitir simulações mais complexas
E6	Doutor, ensino, pesquisa (7 anos)	medições in loco de variáveis ambientais, simulações do comportamento térmico da edificação com programas computacionais; análise das horas de desconforto promovidas pela edificação	-	-

Os demais resultados relacionados às questões gerais são apresentados na *tabela 5.3*. Nesta tabela, os itens são considerados muito importantes (grau 1) quando são indicados em primeiro ou segundo lugar na ordem de relevância, são considerados importantes (grau 2) quando indicados em terceiro ou quarto lugar na ordem de relevância. As demais classificações são interpretadas como problemas pouco relevantes (grau 3). Quando a alternativa não é marcada, ela é considerada irrelevante (grau 4).

Tabela 5.3. Respostas dos especialistas às questões gerais relativas aos problemas verificados para situação de inverno e verão para as habitações de interesse social

problemas relacionados ao ambiente térmico	E1	E2	E3	E4	E5	E6
inverno						
temperatura do ar interno baixa - dia	4	4	4	2	1	1
temperatura do ar interno baixa - noite	1	1	4	1	1	1
condensação sobre paredes	4	4	4	1	4	1
condições internas menos favoráveis que as externas	4	4	4	3	2	1
condensação sob telhas e forro	4	4	4	1	4	4
verão						
temperatura do ar interno alta - dia	1	1	1	1	1	1
temperatura do ar interno alta - noite	4	4	4	2	1	1
paredes quentes	1	4	4	1	4	4
forro quente	1	4	4	3	2	4
condições internas menos favoráveis que as externas	1	4	4	2	2	1

A *tabela 5.3*, apresentada anteriormente, indica quais os principais problemas considerados pelos especialistas. Entre estes especialistas, três atuam na região sul, dois atuam na região sudeste e um atua na região nordeste do Brasil. As regiões sul e sudeste apresentam condições de frio e calor durante o ano. Os especialistas atuando nestas regiões provavelmente verificam problemas relativos a condições de frio e calor. O especialista atuando na região nordeste aponta problemas para as condições de calor. O problema mais relevante apontado pelos

especialistas para a situação de inverno é a temperatura baixa do ar interno tanto durante a noite quanto durante o dia. Para a situação de verão, a temperatura alta do ar interno durante o dia e as condições internas menos favoráveis que as externas são os principais problemas verificados em sua prática profissional.

Tabela 5.4. Respostas dos especialistas às questões gerais relativas aos problemas relacionados ao projeto de habitações de interesse social

problemas relacionados ao projeto	E1	E2	E3	E4	E5	E6	total
inverno							
orientação solar inadequada das fachadas de maior área				×		×	2
orientação solar inadequada dos fechamentos transparentes	×			×		×	3
especificação de paredes (camadas e espessuras) inadequada	×	×		×		×	4
especificação de cobertura (camadas e espessuras) inadequada	×	×		×	×		4
sombreamento das janelas provocado por edificações vizinhas				×	×		2
excesso de infiltração de ar				×	×	×	3
ausência de dispositivos para proteger fechamentos transparentes a noite				×		×	2
verão							
ausência de dispositivos nas aberturas que permitam ventilação noturna	×	×	×	×	×	×	6
especificação de paredes (camadas e espessuras) inadequada	×	×		×	×	×	5
especificação de cobertura (camadas e espessuras) inadequada	×	×	×	×	×	×	6
orientação de águas de cobertura inadequada				×			1
ausência de ventilação da cobertura no verão	×		×	×	×		4
tamanho de aberturas para ventilação inadequadas		×	×	×	×	×	5
posição de aberturas sobre envolvente da edificação inadequada	×		×	×			3
aberturas não captam ventos predominantes de verão	×		×	×		×	4
excesso de radiação solar penetra na edificação	×		×	×			3

A *tabela 5.4* apresenta os resultados obtidos para as questões gerais relativas aos problemas de projeto apontados pelos especialistas e que estão associados aos problemas de conforto térmico dessas habitações.

Os principais problemas projetuais, para a situação de inverno, dizem respeito a especificação de paredes e cobertura (camadas e espessuras) inadequadas. Para a situação de verão, a ausência de dispositivos nas aberturas que permitam a ventilação noturna, a especificação de paredes e coberturas (camadas e espessuras) e tamanho de aberturas para ventilação são os mais relevantes, segundo os especialistas consultados.

A *tabela 5.5* apresenta os resultados relativos às questões específicas sobre o método sendo proposto. Os valores 0 a 5 correspondem ao grau de importância conferido pelos especialistas a cada um dos parâmetros térmicos sugeridos no método em sentido crescente (vide *Anexo 5*). O valor médio alcançado pelo requisito é calculado a partir do número de especialistas que atribuíram grau de 0 a 5 para o requisito (as lacunas indicam que o especialista não tem conhecimento sobre o requisito e, portanto, não é considerado no cálculo da média).

Tabela 5.5. Importância conferida pelos especialistas aos parâmetros térmicos e requisitos propostos no método

requisito	E1	E2	E3	E4	E5	média
coeficiente volumétrico global de perdas e ganhos de calor	5	1	-	1	5	3,00
inércia térmica da edificação (coeficiente de superfície pesada equivalente e efusividade térmica de ambiente)	5	4	5	-	5	4,75
efeito de superfícies frias e quentes sobre homogeneidade do conforto (assimetria da radiação térmica)	1	2	-	3	3	2,25
orientação solar da edificação (inverno)	5	3	4	4	5	4,20
orientação solar das aberturas dos cômodos de maior permanência (inverno)	5	3	4	4	3	3,80
dispositivos opacos de aberturas de dormitórios (inverno)	-	-	4	5	3	4,00
orientação da cobertura (verão)	0	1	4	4	1	2,00
maior água voltada a Sul (verão)	1	1	2	1	1	1,20

Tabela 5.5. continuação

requisito	E1	E2	E3	E4	E5	média
ventilação da cobertura com forro (verão)	5	1	2	5	1	2,80
sombreamento da parede oeste (verão)	5	1	2	3	1	2,40
ventilação cruzada (verão)	5	5	4	2	1	3,40
captação de ventos de verão (verão)	3	1	5	4	3	3,20
proteção contra a radiação solar de aberturas (verão)	5	3	5	5	3	4,20
ventilação noturna	5	1	2	5	1	2,80

Os itens eventualmente marcados com grau 2 e 4 solicitam que o especialista apresente ajustes que o mesmo julgue necessário para o parâmetro térmico. No entanto, alguns especialistas, conferindo estes graus ao parâmetro, não indicam ajustes desejáveis.

Os requisitos da *tabela 5.5*, que alcançam uma média entre 3,6 a 4,8, são considerados mais importantes. São eles: inércia térmica da edificação, representada pelos parâmetros coeficiente de superfície pesada equivalente e efusividade térmica de ambiente, orientação solar da edificação para a situação de inverno, orientação solar das aberturas dos cômodos de maior permanência para situação de inverno, dispositivos opacos de aberturas de dormitórios para a situação de inverno e a proteção contra a radiação solar de aberturas, para a situação de verão.

Os requisitos importantes são aqueles que pontuam entre 2,4 a 3,5 pontos. O coeficiente volumétrico global de perdas e ganhos de calor, ventilação da cobertura, sombreamento da parede oeste para a situação de verão, ventilação cruzada, captação dos ventos de verão e a ventilação noturna compõe este grupo.

Finalmente, os requisitos menos importantes são os pontuados entre 1,2 a 2,3: assimetria da radiação térmica, orientação preferencial da cobertura para uma situação de verão, maior água da cobertura voltada a Sul.

Em relação à temperatura mínima do ar interno para a situação de inverno, os três especialistas, que manifestam opinião sobre o assunto, julgam o limite de 12 °C muito baixo, sugerindo os valores de 16 °C a 18 °C. Um dos especialistas sugere que o valor mínimo esteja

ligado aos valores médios de temperatura do ar externo para cada região. Com base na opinião dos especialistas, neste estudo, 18°C é mantido como o valor mínimo diário de temperatura do ar interno para fins de cálculo dos parâmetros térmicos relativos à situação de inverno.

Em relação à verificação da inércia térmica da edificação, alguns especialistas apontam o uso das normas NBR15220-2 e NBR15220-3 (ABNT, 2005b, 2005c), através do atraso térmico, e do método desenvolvido pelo CSTB. Um dos especialistas faz uso, além das normas NBR15220-2 e NBR15220-3, dos conceitos de amortecimento, difusividade térmica e efusividade térmica. Os parâmetros térmicos sendo propostos no estudo fazem parte da prática de alguns especialistas consultados, julga-se, portanto, que os mesmos podem ser considerados como parâmetros térmicos ligados à inércia térmica das habitações de interesse social.

Para o cálculo dos parâmetros térmicos relacionados a coberturas ventiladas, os especialistas que manifestam opinião sobre o assunto, apontam as recomendações da NBR15220-2 para tais coberturas. Neste estudo, seguem-se tais recomendações, como abordado no *Capítulo 2*. Em relação à ventilação natural, os especialistas que se manifestaram sobre o assunto usam o mesmo método sugerido neste estudo. Os especialistas que manifestam sua opinião sobre as percentagens mínimas e máximas de áreas de aberturas, em relação às áreas de piso, para ventilação de cômodos, julgam os limites adequados (um especialista), valor mínimo muito baixo (um especialista), uso de percentuais insuficiente (dois especialistas) se não houver a obrigação da distribuição das áreas e a relação da altura da verga em função da profundidade do recinto ou a adoção de outros procedimentos de cálculo para verificação das condições de ventilação natural. Neste estudo, sugere-se um método simplificado para a análise das condições de ventilação natural que procura complementar a análise baseada em áreas de aberturas como percentagens das áreas dos pisos dos cômodos, conforme descrito no *Capítulo 2*.

Em relação à assimetria da radiação térmica, dois especialistas não consideram relevante o parâmetro térmico, ou por já ser considerado em outros parâmetros ou por não ser relevante ao tratar-se habitação de interesse social. Os demais especialistas não manifestam opinião.

Um dos especialistas sugere flexibilidade na orientação solar preferencial para a edificação como um todo, tal como de Leste a Norte, uma vez que nem sempre é possível explorar a

melhor orientação solar quando a orientação do lote já vem pré-determinada ou edificações no entorno barram a melhor orientação solar.

5.4 Discussão de resultados obtidos com levantamentos junto aos agentes e especialistas

A partir das entrevistas encaminhadas com os agentes que atuam no setor público, observa-se que um conjunto de prescrições qualitativas é seguido no momento da concepção de projeto ou na tomada de decisão entre uma ou outra solução. As prescrições qualitativas são baseadas na experiência desses agentes ao longo de sua carreira profissional. Um número maior de camadas e uma espessura mínima das mesmas, beirais mais amplos que sombreiem paredes, proteções opacas para fechamentos transparentes, a orientação solar da edificação, ventilação de cobertura, ventilação cruzada e vegetação no entorno imediato à edificação, que podem resultar em um melhor desempenho térmico, vem sendo usados como estratégias de projeto e avaliação de soluções pelos agentes entrevistados. A adoção de padrões consagrados pelo reconhecimento de seu desempenho térmico ao longo do tempo tem sido usada para avaliar soluções consideradas inovadoras. No entanto, como os próprios agentes informam, muitas vezes a tomada de decisão requer uma ferramenta mais acurada que permita analisar de forma mais exata aspectos aproximadamente iguais em duas ou mais soluções, mas que resultam em custos diferentes. Por exemplo, propor espessuras diferenciadas de fechamento conforme sua orientação solar, ou posicionar uma abertura sobre uma fachada mais exposta às brisas de verão permitiria a redução de sua área, ou ainda, permitir a ventilação da cobertura, mantendo uma orientação desfavorável, resultaria no mesmo desempenho térmico? Este tipo de questão com as quais os agentes deparam-se em sua rotina de trabalho só pode ser respondido através de um procedimento que permita simular o conjunto de estratégias adotadas com suas interações mútuas, permitindo uma análise global do comportamento da edificação. Alguns programas existentes permitem esta análise global, porém seu aprendizado e aplicação muitas vezes os tornam inviáveis dentro da rotina de trabalho dos envolvidos no processo. O método proposto busca contribuir nesta situação, à medida que se baseia em procedimentos que podem ser apreendidos e sistematizados facilmente, sem requerer conhecimentos profundos na área de desempenho térmico de habitações. Além do exposto, a partir da experiência dos agentes, há necessidade da proposta de níveis de desempenho, conforme o caráter

emergencial ou não do suprimento da habitação, tal como proposto em ABNT (2004a, 2004b, 2004c).

Segundo resultados obtidos junto ao *grupo 2*, os especialistas tem baseado suas pesquisas e avaliações, em medições *in loco* e/ou programas computacionais de simulação, a partir da análise das horas de desconforto atingidas pelas soluções em estudo. Tais procedimentos têm um objetivo diferente daquele buscado pelos agentes, os quais desejam respostas rápidas para as questões com que se deparam durante o processo projetual. Um dos problemas verificados por um dos especialistas consultados diz respeito à falta de padrões de referência para comparação de resultados obtidos com simulações computacionais ou medições de alguns parâmetros diferentes das horas de desconforto promovidas pela habitação.

Os principais problemas verificados pelos especialistas estão ligados às condições de temperatura do ar interno para situação de inverno (durante a noite) e verão (durante o dia). Talvez esta resposta seja decorrente dos próprios métodos que vem sendo utilizados para a avaliação das habitações, baseados em medições de temperatura do ar externo e interno. Os problemas projetuais dizem respeito à envolvente da edificação, fechamentos opacos e suas camadas e respectivas espessuras, elementos mais facilmente ajustáveis da edificação. Outros problemas são relativos à configuração das aberturas para garantir a ventilação. Também aqui as respostas podem estar ligadas ao processo de avaliação, ou seja, uma vez definida a compartimentação da edificação, com a posição das aberturas sobre paredes, comumente altera-se especificações de paredes e tamanho de aberturas, sem a alteração da distribuição das mesmas, para fins de comparação de desempenhos. As diferenças nas opiniões e experiências dos especialistas, para alguns itens levantados, podem estar ligadas, como já dito, à região na qual tem atuado (com condições de frio, calor, ou ambas mais ou menos intensas), e as oportunidades que tem se apresentado aos mesmos. Condensação sobre paredes no inverno, paredes e forro quentes no verão, que tiveram graus muito diferentes indicados pelos especialistas, podem não estar incluídos em seus métodos de avaliação ou não serem apontados pelos usuários como problemas de conforto, uma vez que são mais difíceis de serem associados a problemas da edificação e não como resultado das condições externas eventuais, decorrentes do clima.

Infelizmente apenas um pequeno número de especialistas consultados pode contribuir com sua opinião em relação ao método. Isto pode se dever ao fato do contato ter sido feito a partir

de correio eletrônico. No tipo de informação e discussão que se deseja encaminhar junto aos especialistas, entrevista pessoal poderia gerar reflexões mais ricas e objetivas.

A *tabela 5.6* apresenta a ordem de relevância indicada pelos especialistas consultados para os requisitos propostos no método. Os requisitos qualitativos foram os considerados mais importantes pelos especialistas (orientação solar, dispositivos de sombreamento em aberturas, orientação solar dos cômodos para inverno). A inércia térmica também é apontada como um requisito importante a ser satisfeito pela edificação.

Tabela 5.6. Classificação dos requisitos propostos por ordem de relevância apontada pelos especialistas consultados

requisito
pontuação 3,6 a 4,8
inércia térmica da edificação (coeficiente de superfície pesada equivalente e efusividade térmica de ambiente)
orientação solar da edificação (inverno)
orientação solar das aberturas dos cômodos de maior permanência (inverno)
dispositivos opacos de aberturas de dormitórios (inverno)
proteção contra a radiação solar de aberturas (verão)
pontuação 2,4 a 3,5
coeficiente volumétrico global de perdas e ganhos de calor
ventilação da cobertura com forro (verão)
sombreamento da parede oeste (verão)
ventilação cruzada (verão)
captação de ventos de verão (verão)
ventilação noturna
pontuação 1,2 a 2,3
efeito de superfícies frias e quentes sobre homogeneidade do conforto (assimetria da radiação térmica)
orientação da cobertura (verão)
maior água voltada a Sul (verão)

A ventilação natural, estratégia importante para a situação de verão, aparece representada pelos requisitos ventilação cruzada, captação de ventos no verão, ventilação da cobertura e ventilação noturna, indicando a preocupação com esta estratégia bioclimática fundamental para garantir o conforto térmico de usuários que não podem dispor de meios artificiais para condicionamento do ar.

Não houve concordância em relação ao grau de importância conferida pelos especialistas para os parâmetros térmicos e requisitos propostos no método (vide *tabela 5.5*). Os requisitos que receberam graus relativamente iguais são aqueles de caráter qualitativo seguidos pela inércia térmica da mesma. Este resultado pode estar ligado aos métodos de avaliação que vêm sendo usados pelos especialistas, fazendo com que considerem mais relevantes parâmetros já consagrados pela sua experiência profissional e que são de fácil aplicação na fase inicial de projeto. As estratégias mais citadas pelos especialistas vão ao encontro daquelas preconizadas pela carta bioclimática para Porto Alegre, apresentadas na *tabela 5.7* (GOULART, 1997, p. 185).

Tabela 5.7. Estratégias bioclimáticas para Porto Alegre e suas respectivas percentagens de horas de desconforto resolvidas

		conforto ($18,0^{\circ}\text{C} < t < 29,0^{\circ}\text{C}$)	22,5%
desconforto		ventilação	23,4%
	por calor ($t > 29,0^{\circ}\text{C}$)	resfriamento evaporativo	4,5%
		massa térmica para resfriamento	4,5%
		resfriamento artificial	1,4%
		massa térmica para aquecimento e aquecimento solar	33,7%
	por frio ($t < 18,0^{\circ}\text{C}$)	aquecimento solar	11,7%
		aquecimento artificial	6,0%
			77,5%

(Fonte: GOULART, 1997, p. 185)

Para a situação de inverno, a estratégia bioclimática que reduz o máximo de horas de desconforto é a massa térmica para aquecimento e o aquecimento solar, com redução de 33,7% das horas de desconforto. Para a situação de verão, a ventilação é responsável por

23,4% de redução de número de horas de desconforto. Se o projeto arquitetônico contemplar tais estratégias, a percentagem de horas de desconforto anual é reduzida para 20,4%, com 17,9% de horas de desconforto por frio e 2,5% de horas de desconforto por calor.

5.5 Considerações finais do capítulo

A partir dos resultados apresentados neste capítulo, verifica-se a necessidade de uma maior integração entre os especialistas e os agentes atuando no setor de habitação de interesse social, a fim de trocar experiências e promover melhorias para essas edificações. Métodos padronizados voltados para duas necessidades distintas devem ser buscados: para os agentes, que buscam respostas rápidas para os problemas que enfrentam em sua rotina de trabalho, e para os especialistas, que constroem o conhecimento e a experiência necessária para o aprimoramento de soluções que levem a um melhor desempenho higrotérmico das habitações de interesse social, ambos respeitando o contexto geográfico, cultural e econômico dos usuários finais das mesmas.

6 CONCLUSÕES E PROPOSTA DE MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO HIGROTÉRMICO DE HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL

Este texto apresenta os ajustes sugeridos para os protótipos *Aglotec* e *Alvorada*, a fim de adequá-los aos critérios sugeridos, as conclusões gerais do estudo e a proposta do método de avaliação de desempenho higrotérmico de habitações térreas unifamiliares de interesse social para as condições climáticas de Porto Alegre.

6.1 Ajustes sugeridos para os protótipos *Aglotec* e *Alvorada*

A *tabela 6.1* enumera os problemas verificados para os protótipos *Aglotec* e *Alvorada* em parâmetros térmicos em relação aos parâmetros térmicos calculados e indica ajustes a serem efetuados a fim de adequá-los aos critérios propostos.

Tabela 6.1. Ajustes propostos para os protótipos *Aglotec* e *Alvorada*

problemas	ajustes
Aglotec	
condensação sobre janelas durante a madrugada, impossibilidade de ventilação noturna dos cômodos durante o verão	inclusão de venezianas nas janelas da sala e dormitórios
assimetria da radiação térmica ΔT_{rp} para forro muito alta	aumento da resistência térmica total R_T da cobertura através da alteração das propriedades físicas de suas camadas (espessuras dos materiais e cores)
transmitância térmica U da cobertura não satisfaz recomendação da ABNT (2005c) para situação de verão	aumento da resistência térmica total R_T da cobertura através da alteração das propriedades físicas de suas camadas (espessuras dos materiais)
fator de calor solar FCS da alvenaria de tijolos à vista não satisfaz recomendação da ABNT (2005c)	alteração da absorvância α das paredes através da pintura de cor clara

Tabela 6.1. continuação

problemas	ajustes
Alvorada	
condensação sobre paredes com espessura de 0,11m, 0,12m e 0,125m	aumento da resistência térmica total R_T através do aumento da espessura das paredes para 0,13m
condensação sobre janelas sem venezianas durante a madrugada e impossibilidade de ventilação noturna durante o verão	inclusão de venezianas na janela baixa do dormitório norte
fator de calor solar FCS das alvenarias de vedação não satisfaz recomendação da ABNT (2005c)	alteração da absorvância α das paredes através da pintura de cor clara

Em relação aos atrasos térmicos, φ , de alguns fechamentos dos protótipos *Aglotec* e *Alvorada* que estão em desacordo com as recomendações da ABNT (2005c), não se propõe sua alteração, já que um atraso térmico maior implica um melhor desempenho térmico frente a amplitudes diárias de onda de temperatura do ar externo superiores a $10,0\text{ }^\circ\text{C}$, como verificado em Porto Alegre e já discutido no *Capítulo 2, item 2.3*.

As características físicas dos fechamentos transparentes do protótipo *Aglotec* são alteradas a fim de ajustar a resistência térmica total, R_T , de janelas, evitando problemas de condensação sobre as mesmas durante as madrugadas, na situação de inverno (através de dispositivo opaco de fechamento). Esta alteração também beneficiará o desempenho térmico das aberturas para as condições de verão, melhorando ventilação natural noturna e protegendo-as de radiação solar direta durante o dia. A resistência térmica total, R_T , da cobertura é aumentada, diminuindo a assimetria da radiação térmica, ΔT_{rp} , e concordando com a recomendação da ABNT (2005c) para transmitância térmica, U , deste fechamento. Além disso, modifica-se o tratamento superficial da parede de alvenaria de tijolos à vista, propondo uma absorvância, α , menor (pintura em cores claras), a fim de que o fator de calor solar, FCS , deste fechamento se ajuste às recomendações da ABNT (2005c). Para as janelas, sugere-se a inclusão de dispositivos opacos (venezianas metálicas). As cores das janelas são mantidas, embora possuam uma absorvância α alta, igual a 0,7. No *Capítulo 5*, que apresenta os resultados obtidos com a consulta aos especialistas, é justificado o uso de cores escuras nas esquadrias: diminui a manutenção devido à sujeira e desgaste. Para a cobertura, adota-se uma configuração de fechamento proposta pela ABNT (2005c) que satisfaz a recomendação para a

transmitância térmica, U , de acordo com a Zona Bioclimática 3, composta de telha de fibrocimento de $0,007m$ de espessura e forro de madeira de $0,01m$ de espessura.

Os fechamentos alterados, para o protótipo *Aglotec*, passam a ter os parâmetros térmicos indicados na *tabela 6.2*.

Tabela 6.2. Parâmetros térmicos ajustados do protótipo *Aglotec*

fechamento	resistência térmica total R_T ($\frac{m^2 K}{W}$)	transmitância térmica U ($\frac{W}{m^2 K}$)	atraso térmico ϕ (h)	coeficiente de amortecimento μ e capacidade térmica total C_T ($\frac{W}{m^2 K}$)	absortância α	fator de calor solar FCS (%)*
tijolo com pintura	0,4345	2,30	5,76	0,5793 / 321,00	0,30	2,76
janela com veneziana	0,3423	2,92	1,04	0,9162	0,70	8,18
cobertura inverno	0,3588	2,79	1,14	0,8975	0,50	5,58
cobertura verão	0,4988	2,00	1,31	0,8832	0,50	4,00

A cobertura do protótipo *Aglotec*, apesar dos ajustes sugeridos, não satisfaz o critério para assimetria da radiação térmica, ΔT_{rp} . Considerando as configurações para coberturas constantes em ABNT (2005c), a cobertura que satisfaria o critério proposto seria composta por telha de barro ou fibrocimento com laje de concreto de $0,20m$ de espessura (vide *Anexo 4*). No entanto, tal cobertura implicaria custos mais elevados para este subsistema da edificação. Portanto, considera-se este critério não satisfeito para o protótipo analisado.

Para o protótipo *Alvorada* são feitas as seguintes alterações: espessura das paredes de $0,11m$, $0,12m$ e $0,125m$, alteradas para $0,13m$ (argamassa de revestimento em ambos os lados sem e com placa cerâmica); tratamento externo das superfícies das paredes com cores claras (absortância α igual a $0,30$); janela do dormitório norte com veneziana (janela igual a do dormitório leste); sombreamento das janelas altas pelo beiral da cobertura (como brise horizontal) e alteração da absortância α da cobertura de $0,8$ para $0,5$. Estas alterações buscam corrigir os problemas verificados com condensação sobre as paredes, para a situação de

inverno, concordância do fator de calor solar, FCS , das paredes com o valor recomendado pela ABNT (2005c), problemas de condensação sobre as esquadrias para a situação de inverno, assimetria da radiação térmica, ΔT_{rp} , e redução de ganhos solares. Para o sombreamento promovido pelo beiral, considera-se que o mesmo equivale a um brise horizontal que promove sombra na abertura em seis meses do ano. Segundo AROZTEGUI (1984, p. 15), a radiação solar global, I_g , incidente é reduzida em 75% para este dispositivo. Para as janelas altas voltadas a Norte do protótipo *Alvorada*, considera-se a radiação solar global, I_g , reduzida de um fator 0,25 correspondente ao fator de calor solar, FCS , do sombreamento promovido pelo beiral cobertura.

Após os ajustes propostos para os dois protótipos, obtêm-se os resultados apresentados na *tabela 6.3* para os quatro projetos selecionados.

Tabela 6.3. Resultados obtidos para os quatro projetos selecionados

parâmetros térmicos	Aglotec	Alvorada	projeto-referência 1	projeto-referência 2
coeficiente volumétrico global de perda de calor GV_{inverno}	$2,9906 \frac{W}{m^3 K}$	$2,8030 \frac{W}{m^3 K}$	$3,7804 \frac{W}{m^3 K}$	$5,2917 \frac{W}{m^3 K}$
condensação superficial sobre fechamentos em regime permanente $t_{si} \times t_{orvalho}$	sobre janelas da cozinha e banheiro	sobre vigas e janelas sala e cozinha e banheiro	sobre vigas, portas e janelas, com exceção de partes envidraçadas com veneziana	sobre vigas, portas e janelas, com exceção de partes envidraçadas com veneziana
assimetria da radiação térmica ΔT_{rp}	cobertura não satisfaz critério	cobertura não satisfaz critério	cobertura não satisfaz critério	cobertura não satisfaz critério
coeficiente volumétrico global de ganho de calor $GV_{\text{verão}}$	$16,1133 \frac{W}{m^3 K}$	$14,6829 \frac{W}{m^3 K}$	$17,1356 \frac{W}{m^3 K}$	$18,7615 \frac{W}{m^3 K}$
coeficiente de superfície pesada equivalente ou categoria de inércia $coef_{SPE}$	1,62 (média)	1,85 (média)	1,97 (média)	1,00 (média)
efusividade térmica média do ambiente ef_{amb}	$977,49 \frac{W \times s^2}{m^2 K}$	$1.281,93 \frac{W \times s^2}{m^2 K}$	$1.234,61 \frac{W \times s^2}{m^2 K}$	$2.039,53 \frac{W \times s^2}{m^2 K}$

Tabela 6.3. continuação

parâmetros térmicos	Aglotec	Alvorada	projeto-referência 1	projeto-referência 2
área da cobertura sul \times área total da cobertura $\text{coef}_{\text{coberturaS}}$	0,54	0,88	não apresenta a orientação sugerida	não apresenta a orientação sugerida
área da parede norte \times área da envolvente $\text{coef}_{\text{paredeN}}$	0,23	0,37	0,30	0,30

6.2 Conclusões gerais

As conclusões gerais do trabalho foram organizadas segundo os resultados obtidos com a aplicação dos parâmetros térmicos para os quatro projetos selecionados, resultados obtidos através da análise do comportamento medido *in loco* para os protótipos *Aglotec* e *Alvorada*, resultados obtidos junto aos agentes atuando no setor público da construção civil e junto aos especialistas em conforto térmico de edificações.

6.2.1 Aplicação dos parâmetros térmicos

A *tabela 6.4* apresenta as conclusões segundo resultados apresentados no *Capítulo 3*.

Tabela 6.4. Conclusões obtidas a partir da análise de parâmetros térmicos

parâmetros térmicos	resultados	conclusões
coeficiente volumétrico global de perda de calor ($\text{GV}_{\text{inverno}}$)	maiores contribuições para paredes, coberturas e fechamentos transparentes sem proteção opaca	limite máximo para transmitância térmica de paredes e coberturas (situação de inverno) e exigência de fechamentos transparentes com proteção opaca pelo menos para dormitórios
condensação superficial sobre superfícies internas ($t_{\text{si}} \times t_{\text{orvalho}}$)	problemas de condensação sobre superfícies de baixa resistência térmica	limite máximo para transmitância térmica de paredes e coberturas (situação de inverno) e exigência de fechamentos transparentes com proteção opaca pelo menos para dormitórios
assimetria da radiação térmica (ΔT_{rp})	cobertura com desempenho desfavorável para a condição de calor	limite máximo de transmitância térmica para cobertura; critério difícil de ser satisfeito em se tratando de habitações de baixo custo

Tabela 6.4. continuação

parâmetros térmicos	resultados	conclusões
coeficiente volumétrico global de ganho de calor ($GV_{\text{verão}}$)	maior contribuição devido à cobertura, seguida por paredes voltadas para leste, oeste, nordeste, sudoeste	limite máximo para transmitância térmica de coberturas (situação de verão), sombreamento de superfícies verticais voltadas para as orientações citadas
coeficiente de superfície pesada equivalente (coef_{SPE})	pouca diferença entre projetos analisados	parâmetro mostrou-se pouco sensível na indicação da inércia térmica da edificação
efusividade térmica média de ambientes (ef_{amb})	pouca diferença entre projetos analisados	parâmetro não mostrou-se sensível na indicação da inércia térmica da edificação
taxas da envolvente da edificação ($\text{coef}_{\text{coberturaS}}$ e $\text{coef}_{\text{paredeN}}$)	resultados diferenciados para os quatro projetos analisados	projeto com melhor resultado em relação aos coef. volumétricos globais de perda e ganho apresentou melhores taxas
condições de ventilação natural	resultado desfavorável para projeto que não possui dispositivos que permitam ventilação noturna	áreas mínimas para ventilação, exigência de dispositivos que permitam ventilação noturna da edificação como um todo

Segundo resultados obtidos, a assimetria da radiação térmica e a efusividade térmica foram pouco indicativas dos desempenhos observados para os projetos em questão. Os parâmetros térmicos atraso térmico e coeficiente de amortecimento reproduzem as mesmas características dos fechamentos, de acordo com o modelo adotado, podendo-se assumir apenas um deles como representativo da inércia térmica da edificação.

6.2.2 Análise das medições in loco

Em relação a análise das condições climáticas de Porto Alegre e resultados de medições *in loco* de BECKER (1992) e MORELLO (2005), encaminhadas no *Capítulo 4*, conclui-se que:

- freqüência de dias com amplitudes superiores a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ implicam a possibilidade de exploração da inércia térmica da edificação;
- na situação de verão, temperatura abaixo dos $29\text{ }^{\circ}\text{C}$ a partir das 19 horas, com defasagem aproximada de 4 horas em relação à maior temperatura registrada durante o dia, sugere um atraso térmico mínimo de 4 horas para a edificação;
- valores de atraso térmico mínimos para garantir inércia térmica frente a grandes amplitudes diárias de temperatura e frentes frias;

- d) análises do comportamento térmico de edificações a partir de medições *in loco* devem abranger no mínimo um período de sete dias consecutivos a fim de possibilitar a avaliação frente a condições de frentes frias e ondas de calor, típicas para a região de Porto Alegre;
- e) as edificações são mais exigidas em relação ao desempenho térmico para situação de inverno do que para situação de verão.

A *tabela 6.5* apresenta os resultados e conclusões gerais obtidos através da análise do comportamento térmico medido *in loco* para os protótipos *Aglotec* e *Alvorada*.

Tabela 6.5. Conclusões a partir dos resultados das medições *in loco* para os protótipos *Aglotec* e *Alvorada*

	resultados	conclusões
Aglotec	não há diferença significativa entre as temperaturas do ar interno medidas para os diferentes cômodos para o período de medições	para edificações até 60 m ² , a orientação dos cômodos não tem influência significativa na temperatura do ar interno
	coeficiente de amortecimento médio atingido entre 0,4 a 0,5	valor de referência para coeficiente de amortecimento da edificação a ser obtido com medições <i>in loco</i> de temperaturas do ar externo e interno aproximado de 0,5
	cobertura apresenta maior valor para temperatura superficial interna	importância da configuração da cobertura; exigência de valor mínimo de transmitância térmica para este fechamento na situação de verão
	pequena diferença verificada entre temperaturas de globo e temperaturas do ar interno	temperatura de globo pouco indicativa do desconforto causado por radiação; diferença de temperatura radiante plana é mais adequada para este fim
Alvorada	resposta rápida às quedas de temperatura (frentes frias)	importância da captação de radiação solar na situação de inverno através de aberturas voltadas ao Norte e inércia térmica da edificação como estratégias de aquecimento solar passivo
	temperatura de globo inferior ao limite inferior da zona de conforto de Givoni	exigência de valores máximos para transmitância térmica dos fechamentos da edificação
	para condições de frio, temperatura do ar interno mantém-se próxima das temperaturas máximas do ar externo	configuração geral da edificação prioriza a orientação norte indicando eficiência desta orientação para aquecimento solar passivo
para condições de calor, temperatura do ar interno mantém-se abaixo do limite superior da zona de conforto de Givoni		

De modo geral, ambos os protótipos, *Aglotec* e *Alvorada*, apresentaram um bom desempenho através da análise das medições *in loco*, justificando sua escolha como padrões melhorados para habitações de interesse social.

6.2.3 Levantamentos junto a agentes e especialistas

As conclusões gerais, relativas aos resultados obtidos junto aos agentes do setor público atuando no projeto, implantação, execução, fiscalização e financiamento de empreendimentos voltados à população de baixa renda em Porto Alegre e no RS e junto aos especialistas em conforto térmico de edificações atuando em instituições de ensino e pesquisa no Brasil, apresentadas no *Capítulo 5*, são apresentadas na *tabela 6.6* que segue em forma de ações sugeridas para o setor.

Tabela 6.6. Ações sugeridas a partir dos resultados obtidos junto aos agentes do setor público

resultados	ações
agentes do setor público	
poucas contribuições para crítica do método	atualização técnica periódica dos agentes em conhecimentos referentes ao desempenho térmico de edificações
falta de avaliação pós-ocupação para retro-alimentação das equipes de projeto	desenvolvimento de pesquisas voltadas a avaliação de desempenho higtérmico de habitações já implantadas pelas instituições de pesquisa brasileiras
entrega de habitações incompletas para usuário final e necessidade de desenvolvimento de um manual do usuário	desenvolvimento de projetos a serem construídos por etapas com diretrizes e especificações de melhorias a serem implementadas pelo usuário final a curto, médio e longo prazos
necessidade de prescrições qualitativas ou verificação expedita de conformidade	diretrizes qualitativas para configuração geral da habitação (cores, posição de aberturas, número e espessura de camadas para paredes e coberturas, dispositivos de sombreamento de aberturas)
uso da arborização do espaço público como coadjuvante do controle do microclima, orientação da edificação em relação ao Norte	normas urbanísticas para a implantação de loteamentos de caráter social com especificações para arborização, pavimentação dos espaços públicos e privados abertos e orientação de lotes, com distanciamento mínimo entre unidades para garantir captação de radiação solar e ventilação natural
atendimento de parcelas da população com diferentes faixas de renda	faixas de desempenho diferenciadas conforme disponibilidade de recursos para construção da habitação

Tabela 6.6 continuação

resultados	ações
especialistas em conforto térmico	
problemas de temperatura do ar interno baixa no inverno é associada a camadas e espessuras de paredes e coberturas	aquecimento solar passivo, configuração geral da edificação, limite máximo de transmitância térmica para paredes e coberturas, dispositivos opacos em aberturas
problemas de temperatura do ar interno alta no verão associada a ausência de dispositivos que permitam ventilação noturna, camadas e espessuras de paredes e coberturas, tamanho de aberturas para ventilação	tamanho de aberturas, ventilação cruzada, dispositivos em aberturas que permitam captação de ventos noturnos, limite máximo de transmitância térmica para paredes e coberturas
avaliações seguem recomendações constantes na NBR 15220	complementação das recomendações da norma NBR 15220 com sugestão de outros parâmetros térmicos e critérios para avaliação
avaliações através de medições in loco sem métodos padronizados nacionalmente	definição de período de medições com intervalo mínimo de sete dias consecutivos para condições de calor e de frio e uso de métodos padronizados
necessidade de adoção de métodos padronizados para avaliação das habitações seja através de medições in loco, seja por simulações computacionais	contato contínuo dos grupos envolvidos na avaliação de desempenho higrotérmico de edificações para troca de experiências e definição de métodos padronizados
temperatura mínima do ar interno para situação de inverno entre 16 °C a 18 °C	referência para temperatura mínima do ar interno para situação de inverno igual a 18 °C
inércia térmica da edificação verificada através dos parâmetros atraso térmico e coeficiente de superfície pesada equivalente	atraso térmico, coeficiente de amortecimento e coeficiente de superfície pesada equivalente como parâmetros térmicos representativos da inércia térmica da edificação
uso de percentuais de área de aberturas em relação a áreas de piso insuficientes para indicar condições de ventilação natural de edificações	verificação de condições de ventilação natural através de análise dos fluxos de ar atingidos com a configuração das aberturas
análise da assimetria da radiação térmica não aplicável a habitações de interesse social	parâmetro térmico eliminado da proposta final
orientação solar preferencial da edificação com certa flexibilidade para adequar-se às condições do entorno imediato	análise feita juntamente com o entorno e as sombras por ele projetada sobre a edificação

De acordo com os resultados obtidos junto aos agentes, diretrizes qualitativas são importantes, tais como absorvância de superfícies (relacionados à cor dos fechamentos); posição de aberturas e dispositivos de sombreamento para aberturas. A incorporação, sempre que possível, de normas urbanísticas para implantação loteamentos também é um fator relevante para atingir melhor qualidade das habitações de interesse social. Finalmente, é constatada a

importância de se avaliar as habitações segundo faixas de desempenho, conforme recursos disponíveis.

De acordo com os especialistas consultados, diretrizes ligadas às estratégias de aquecimento solar passivo e massa térmica para aquecimento são importantes para situação de inverno. Para situação de verão, estratégias que privilegiem a ventilação natural devem ser priorizadas. A análise da assimetria da radiação térmica não é considerada importante pelos especialistas. Necessidade de analisar orientação solar da edificação junto com a área de implantação da mesma para verificação da melhor orientação para captação de radiação solar. Taxas ligadas à configuração da cobertura não são consideradas importantes.

6.3 Definição de parâmetros térmicos e diretrizes

A partir dos resultados e conclusões gerais é definido o conjunto de parâmetros térmicos a permanecer na proposta final do método. A justificativa para a inclusão ou exclusão de cada parâmetro térmico proposto inicialmente é apresentada na *tabela 6.7* que segue. Os parâmetro térmicos estão organizados em quatro grupos, referentes a: edificação como um todo, cobertura, paredes e fechamentos transparentes.

Tabela 6.7. Justificativa para inclusão ou exclusão de cada parâmetro inicialmente proposto

parâmetro térmico e diretriz	justificativa	inclusão?
edificação		
coeficiente volumétrico global de perda de calor GV_{inverno}	permite a análise integrada dos vários fechamentos da edificação	sim
coeficiente volumétrico global de ganho de calor $GV_{\text{verão}}$	permite a análise integrada dos vários fechamentos da edificação	sim
coeficiente de superfície pesada equivalente coef_{sp}	pouco sensível na representação da inércia térmica da edificação, porém indica qualidade de fechamentos e partições frente ao acúmulo de calor, vem sendo usado por alguns especialistas em conforto térmico	sim
efusividade média dos ambientes ef_{amb}	não reproduz diferenças entre projetos analisados	não

Tabela 6.7. continuação

parâmetro térmico e diretriz	justificativa	inclusão?
edificação (cont.)		
proporção entre área da parede norte a nordeste e área total da envolvente vertical $\text{coef}_{\text{paredeN}}$	dependente das condições do entorno construído imediato à habitação, substituído por recomendação qualitativa para captação de radiação solar no inverno	sim
orientação solar das aberturas dos cômodos de maior permanência para situação de inverno	não há diferença significativa entre temperaturas observadas por BECKER (1992) para diferentes cômodos para habitações de pequena área	não
assimetria da radiação térmica por frio ou calor para parede ΔT_{tp}	não apresentou diferença significativa para projetos analisados, não é considerado relevante por especialistas	não
assimetria da radiação térmica por frio ou calor para cobertura ΔT_{tp}	adequação da cobertura ao critério implica custos adicionais, não é considerado relevante por especialistas	não
cobertura		
transmitância térmica situação de inverno $U_{\text{cobertura}}$	expressa comportamento térmico do fechamento com maior contribuição para perdas térmicas no inverno, considerado importante por agentes e especialistas, recomendação da NBR 15220, fácil aplicação	sim
transmitância térmica situação de verão $U_{\text{cobertura}}$	está incluído nos coeficientes volumétricos globais e FCS	não
atraso térmico inverno φ	importante para situação de grandes amplitudes diárias de onda de temperatura, ligado à inércia térmica do fechamento, usado por alguns especialistas, recomendação da NBR 15220	sim
atraso térmico verão φ	importante para situação de grandes amplitudes diárias de onda de temperatura, ligado à inércia térmica do fechamento, usado por alguns especialistas, recomendação da NBR 15220	sim
coeficiente de amortecimento inverno μ	pode ser representado através do atraso térmico	não
coeficiente de amortecimento verão μ	pode ser representado através do atraso térmico	não
fator de calor solar inverno FCS	reflete efeito conjunto da transmitância térmica e cor do fechamento, importante para a situação de verão	não
fator de calor solar verão FCS	reflete efeito conjunto da transmitância térmica e cor do fechamento, usado por alguns especialistas, recomendação da NBR 15220	sim
orientação da cobertura	não é considerado relevante pelos especialistas, águas de diferentes orientações não apresentaram diferença significativa nas contribuições calculadas	não

Tabela 6.7. continuação

parâmetro térmico e diretriz	justificativa	inclusão?
cobertura (cont.)		
proporção água sul ou sudeste em relação à norte ou noroeste $\text{coef}_{\text{coberturaS}}$	não é considerado relevante pelos especialistas	não
ventilação da cobertura	não é considerado relevante pelos especialistas, principal contribuição para transmissão de calor é por radiação prevista na resistência térmica da câmara-de-ar	não
paredes		
transmitância térmica U_{parede}	está incluído nos coeficientes volumétricos globais e FCS	não
atraso térmico ϕ	importante para situação de grandes amplitudes diárias de onda de temperatura, ligado à inércia térmica do fechamento, usado por alguns especialistas, recomendação da NBR 15220	sim
coeficiente de amortecimento μ	pode ser representado através do atraso térmico	não
fator de calor solar FCS	reflete efeito conjunto da transmitância térmica e cor do fechamento, usado por alguns especialistas, recomendação da NBR 15220, importante para a situação de verão	sim
sombreamento parede noroeste a sudoeste apenas no verão	fechamento vertical mais exposto à radiação solar no verão	sim
fechamentos transparentes		
área para ventilação por cômodo $A_{\text{ventilação}}$	considerado insuficiente para análise da ventilação natural por agentes e especialistas, mantém-se com sugestão de análise complementar	sim
ventilação cruzada	permite análise da ventilação natural a partir de configuração de aberturas (disposição), considerado importante por agentes e especialistas, recomendação da NBR 15220	sim
orientação das aberturas	permite análise da ventilação natural a partir de configuração de aberturas (disposição)	sim
dispositivos de segurança	importante para possibilitar captação de ventilação natural noturna, considerado importante por agentes e especialistas	sim
proteção contra a radiação solar	importante para controle de captação de radiação solar, considerado importante por agentes e especialistas	sim

Os valores de referência dos parâmetros térmicos considerados no método são baseados ou na bibliografia pesquisada, ou nos valores alcançados pelos projetos selecionados. O desempenho higrotérmico mínimo a ser atingido é definido pelo desempenho atingido pelo

projeto-referência 1, representativo da prática local, considerado pelos agentes como melhor padrão atingido e aceito pela população.

Os coeficientes volumétricos globais de perdas e ganhos de calor $GV_{inverno}$ e $GV_{verão}$ atingidos pelos quatro projetos selecionados dão origem a três níveis possíveis de avaliação de desempenho térmico: nível 1 (*N1*), associado ao desempenho do *projeto-referência 1*, nível 2 (*N2*), associado aos desempenhos atingidos pelos protótipos *Aglotec* e *Alvorada*, e nível 3 (*N3*), representativo de uma solução com desempenho superior àqueles atingidos pelos projetos citados.

Na formatação final do método, os parâmetros térmicos propostos no método estão ligados a requisitos, ou seja, a um conjunto de condições qualitativas que devem ser satisfeitas pela habitação a fim de garantir o conforto térmico dos seus usuários. Os critérios são os parâmetros térmicos propostos juntamente com os procedimentos de cálculo e seus valores de referência de forma a permitir uma análise objetiva do desempenho higrotérmico da edificação¹².

Os valores de ponderação dos critérios são definidos em função da opinião dos especialistas e de acordo com a carta bioclimática. Sendo assim, recebem maiores pesos os critérios voltados à amenização das condições de frio relacionados às estratégias de massa térmica para aquecimento e aquecimento solar passivo. Para as condições de calor, critérios que promovem a ventilação natural são consideradas como mais importantes. Seguem critérios ligados ao controle da incidência de radiação solar para o interior da edificação na situação de verão. Em menor grau, são considerados os critérios restantes e ligadas à edificação como um todo e a possibilidade de sombreamento da parede oeste apenas no verão. Os critérios ligados ao comportamento da cobertura no inverno e verão seguem na ordem de ponderação. Os demais critérios recebem menor ponderação. Os pesos conferidos variam de 1 a 5.

Os coeficientes volumétricos globais de perdas e ganhos de calor $GV_{inverno}$ e $GV_{verão}$ são pontuados conforme os três níveis, *N1*, *N2* e *N3*, definidos anteriormente.

A *tabela 6.8* indica a justificativa, os critérios propostos e a ponderação conferida.

¹² Conforme definição da ABNT (2004a, p. 8).

Tabela 6.8. Justificativa para os critérios propostos e sua ponderação

justificativa	requisito	ponderação
situação de inverno, massa térmica para aquecimento e aquecimento solar passivo, amenização da temperatura do ar interno	coef_{SPE} , possibilidade de captação de radiação solar para o interior da edificação no inverno, ϕ paredes e cobertura (inverno),	5
situação de verão, ventilação natural	$A_{\text{ventilação}}$, ventilação cruzada, orientação de aberturas, dispositivos de segurança e proteção solar de aberturas	4
comportamento térmico da edificação como um todo	GV_{inverno} , $GV_{\text{verão}}$ *, sombreamento de paredes noroeste a sudoeste apenas no verão	3
comportamento térmico da cobertura no inverno e verão, amenização da temperatura do ar interno	$U_{\text{cobertura}}$ (inverno), ϕ (verão), FCS (verão)	2
comportamento térmico de paredes, amenização da temperatura do ar interno	FCS	1

* GV_{inverno} e $GV_{\text{verão}}$ recebem um ponto e dois pontos além do valor da ponderação, sempre que enquadrarem-se nos níveis 2 ou 3 (N2 ou N3)

A *tabela 6.9* apresenta os parâmetros térmicos ou diretrizes propostas, sua influência no comportamento térmico da edificação, a origem dos valores tomados como referência, bem como estes valores.

Embora as variáveis transmitância térmica U e fator de calor solar FCS estejam inseridos nos coeficientes volumétricos globais de perda e ganho de calor GV_{inverno} e $GV_{\text{verão}}$, os parâmetros são pontuados separadamente, pois expressam atributos desejáveis para os fechamentos em si, independentes da configuração da edificação como um todo, principalmente a cobertura que demonstrou ser o fechamento mais importante nas trocas térmicas com o meio na situação das edificações analisadas.

Tabela 6.9. Parâmetros térmicos e diretrizes, influência no comportamento térmico da edificação, valores de referência e sua origem

parâmetro térmico e diretriz	influência no comportamento da edificação	origem	valor de referência
edificação			
coeficiente volumétrico global de perda de calor	trocas térmicas entre a edificação como um todo e o meio circundante	N1 (projeto-referência 1)	$3,1 \frac{W}{m^3 K} \leq GV_{\text{inverno}} \leq 4,0 \frac{W}{m^3 K}$
		N2 (Aglotec e Alvorada)	$2,0 \frac{W}{m^3 K} \leq GV_{\text{inverno}} \leq 3,0 \frac{W}{m^3 K}$
		N3	$GV_{\text{inverno}} < 2,0 \frac{W}{m^3 K}$
coeficiente volumétrico global de ganho de calor	trocas térmicas entre a edificação como um todo e o meio circundante	N1 (projeto-referência 1)	$16,5 \frac{W}{m^3 K} \leq GV_{\text{verão}} \leq 18 \frac{W}{m^3 K}$
		N2 (Aglotec e Alvorada)	$14,5 \frac{W}{m^3 K} \leq GV_{\text{verão}} \leq 16,4 \frac{W}{m^3 K}$
		N3	$GV_{\text{verão}} \leq 14,5 \frac{W}{m^3 K}$
parâmetro térmico e diretriz	influência no comportamento da edificação	origem	valor de referência
coeficiente de superfície pesada equivalente	massa térmica para aquecimento	projeto-referência 1, Aglotec e Alvorada	$\text{coef}_{\text{SPE}} \geq 1,5$
orientação solar das aberturas dos cômodos para captação de radiação solar	aquecimento solar passivo	sugerido	Nordeste a Noroeste
cobertura			
transmitância térmica situação de inverno	reduzir perdas de calor por condução, condensação sob o forro e telha	projeto-referência 1	$U_{\text{cobertura}} \leq 2,80 \frac{W}{m^2 K}$
atraso térmico inverno ou verão	deslocar fluxo de calor máximo para horários de menor ou maior temperatura do ar externo	projeto-referência 1	$\varphi \geq 1,3 \text{ h}$
fator de calor solar verão	efeito radiação solar direta	projeto-referência 1	$FCS \leq 4,0 \%$

Tabela 6.9. continuação

parâmetro térmico e diretriz	influência no comportamento da edificação	origem	valor de referência
paredes			
atraso térmico	deslocar fluxo de calor máximo para horários de menor temperatura do ar externo	projeto-referência 1	$\varphi \geq 4,00$ h
fator de calor solar	efeito radiação solar direta	projeto-referência 1	FCS $\leq 3,4$ %
sombreamento paredes noroeste a sudoeste apenas no verão	reduzir ganhos de calor no verão	sugerido	possibilidade de sombreamento apenas no verão
fechamentos transparentes			
área para ventilação por cômodo	permitir ventilação dos cômodos no verão	ABNT	$15 \% \leq A_{\text{ventilação}} \leq 25 \%*$
ventilação cruzada	permitir ventilação dos cômodos no verão	ASHRAE	aberturas em planos opostos da edificação
orientação das aberturas	permitir captação de ventos predominantes no verão	ASHRAE	aberturas voltadas a Sudeste ou Leste
dispositivos de segurança	permitir ventilação noturna sem comprometimento da privacidade e segurança	sugerido	presença de dispositivos opacos externos de segurança que permitam no mínimo 50% de ventilação
proteção contra a radiação solar	evitar a radiação solar direta sobre superfícies envidraçadas quando desejável	sugerido	presença de dispositivos externos móveis de sombreamento
* sugere-se análise complementar da configuração de aberturas para ventilação natural (Cap. 3, item 3.4)			

6.4 Proposta final do método

Neste item, é apresentada a proposta final do método, com a pontuação máxima que pode ser atingida por uma edificação sendo avaliada através do mesmo.

A edificação é formada por um conjunto de partes com características térmicas individuais e que, quando combinadas, não se comportam como a simples soma de seus comportamentos

individuais. Os parâmetros térmicos propostos, ou critérios de desempenho, são interdependentes e, ao ser alterada a configuração de um elemento que compõe a envolvente da edificação, é alterado o desempenho térmico da edificação como um todo, expresso através destes parâmetros. Alguns dos critérios, tal como os coeficientes volumétricos globais de perda e ganho de calor, espelham esta inter-relação existente entre os diferentes parâmetros térmicos e são influenciados, por exemplo, diretamente pela orientação solar de fechamentos opacos e transparentes. Apesar desta inter-relação, assume-se que os critérios podem ser ponderados de forma independente, como proposto neste estudo. A *tabela 6.10* apresenta os requisitos e critérios propostos para o método de avaliação de desempenho higratérmico.

Tabela 6.10. Requisitos e critérios para avaliação de desempenho higratérmico de habitações de interesse social em Porto Alegre

requisito/parâmetro ou diretriz	critério	ponderação	
edificação			
1	redução de perdas térmicas no inverno / coeficiente volumétrico global de perda de calor	$3,1 \frac{W}{m^3 K} \leq GV_{\text{inverno}} \leq 4,0 \frac{W}{m^3 K}$	3
		$2,0 \frac{W}{m^3 K} \leq GV_{\text{inverno}} \leq 3,0 \frac{W}{m^3 K}$	4
		$GV_{\text{inverno}} < 2,0 \frac{W}{m^3 K}$	5
2	redução de ganhos térmicos no verão / coeficiente volumétrico global de ganho de calor	$16,5 \frac{W}{m^3 K} \leq GV_{\text{verão}} \leq 18 \frac{W}{m^3 K}$	3
		$14,5 \frac{W}{m^3 K} \leq GV_{\text{verão}} \leq 16,4 \frac{W}{m^3 K}$	4
		$GV_{\text{verão}} \leq 14,5 \frac{W}{m^3 K}$	5
3	inércia térmica da edificação para aquecimento e resfriamento / coeficiente de superfície pesada equivalente	$\text{coef}_{\text{SPE}} \geq 1,5$	5
4	captação de radiação solar para aquecimento	fechamentos transparentes voltados para Nordeste a Noroeste	5
		N1	16
		total parcial	N2 18
		N3	20

Tabela 6.10. continuação

	requisito/parâmetro ou diretriz	critério	ponderação		
cobertura					
5	redução de perdas térmicas no inverno / transmitância térmica situação de inverno	$U_{\text{cobertura}} \leq 2,80 \frac{W}{m^2 K}$	2		
6	inércia térmica da edificação / atraso térmico inverno	$\varphi \geq 1,1 \text{ h}$	5		
7	inércia térmica da edificação / atraso térmico verão	$\varphi \geq 1,3 \text{ h}$	2		
8	redução de ganhos térmicos no verão / fator de calor solar verão	$FCS \leq 4,0 \%$	2		
			total parcial	11	
paredes					
10	inércia térmica da edificação / atraso térmico	$\varphi \geq 4,0 \text{ h}$	5		
11	controle de perdas e ganhos de calor / fator de calor solar	$FCS \leq 3,4 \%$	1		
12	redução de ganhos térmicos no verão / sombreamento de paredes oeste a noroeste	possibilidade de sombreamento apenas no verão	3		
			total parcial	9	
fechamentos transparentes					
13	área para ventilação por cômodo	$15 \% \leq A_{\text{ventilação}} \leq 25 \%$	4		
14	ventilação cruzada	aberturas em planos opostos da edificação	4		
15	orientação das aberturas para captação de ventos de verão	aberturas voltadas a Sudeste ou Leste	4		
16	dispositivos de segurança	presença de dispositivos opacos externos de segurança que permitam no mínimo 50% de ventilação	4		
17	proteção contra a radiação solar	presença de dispositivos externos móveis de sombreamento	4		
			total parcial	20	
			total	N1	56
				N2	58
				N3	60

Finalmente, os quatro projetos selecionados para análise, *Aglotec*, *Alvorada*, *projeto-referência 1* e *projeto-referência 2*, são submetidos à avaliação com o método proposto a fim de gerar quatro classificações possíveis de serem atingidas por outros projetos. A *tabela 6.11* apresenta a pontuação alcançada por esses quatro projetos.

Tabela 6.11. Pontuação atingida pelos quatro projetos selecionados

	requisito/parâmetro ou diretriz	Aglo	Alvo	proj-ref 1	proj-ref 2
edificação					
1	redução de perdas térmicas / coef. vol. global de perda de calor	4	4	3	0
2	redução de ganhos térmicos / coef. vol. glob. de ganho de calor	4	4	3	0
3	inércia térmica da edificação para aquecimento e resfriamento / coeficiente de superfície pesada equivalente	5	5	5	0
4	captação de radiação solar para aquecimento	0	5	5	5
	total parcial	13	18	16	5
cobertura					
5	redução de perdas térmicas no inverno / transmitância térmica situação de inverno	2	2	2	2
6	inércia térmica da edificação / atraso térmico inverno	5	5	5	0
7	inércia térmica da edificação / atraso térmico verão	2	2	2	0
8	redução de ganhos térmicos no verão / fator de calor solar verão	2	2	0	0
	total parcial	11	11	9	2
paredes					
9	inércia térmica da edificação / atraso térmico	5	0	0	0
10	controle de perdas e ganhos de calor / fator de calor solar	1	0	0	0
11	redução de ganhos térmicos no verão / sombreamento parede nordeste a sudoeste	0	3	0	0
	total parcial	6	3	0	0
fechamentos transparentes					
25	área para ventilação por cômodo	4	0	0	0
26	ventilação cruzada	4	4	4	4
27	orientação das aberturas para captação de ventos de verão	4	4	4	4
28	dispositivos de segurança para ventilação noturna	4	4	4	4
29	proteção contra a radiação solar	4	4	4	4
	total parcial	20	16	16	16
	total	50	48	41	23

O método permite a comparação de duas soluções ou mais para a verificação daquela que apresenta melhor desempenho considerando os requisitos e critérios propostos. Pode ser usada como uma ferramenta de tomada de decisão em nível de concepção da edificação ou de avaliação de duas ou mais soluções existentes.

O máximo de pontos a ser atingido por um determinado projeto, segundo os critérios adotados no método proposto, é 60 (sessenta pontos). O *projeto-referência 1*, projeto considerado como prática aceitável pelos agentes, atingiu uma pontuação de 41 pontos, próximas às pontuações atingidas pelos protótipos *Aglotec* (50 pontos) e *Alvorada* (48 pontos), com transmitância térmica U , Fator de Calor Solar FCS , atraso térmico φ e coeficiente de amortecimento μ mais favoráveis do que o primeiro, o que era um resultado esperado. O *projeto-referência 2*, considerado como solução desfavorável, atinge a menor pontuação (23 pontos), com desempenho cerca de 50 % abaixo daquele atingido pelos demais projetos. A partir desses resultados, três classificações possíveis para as habitações de interesse social sob avaliação através do método são propostas, conforme indicado na *tabela 6.12*.

Tabela 6.12. Classificações possíveis para habitações térreas unifamiliares de interesse social para as condições climáticas de Porto Alegre

classificação	avaliação	pontuação
A	resultado ótimo	51 a 60
B	resultado médio	46 a 50
C	mínimo aceitável	40 a 45

6.5 Considerações finais do capítulo

O método reproduz o resultado esperado, ou seja, os projetos com configurações de envolvente mais favoráveis, como o projeto *Aglotec* e *Alvorada* (após ajustes efetuados) alcançam pontuações maiores para os requisitos propostos. Já o *projeto-referência 1*, atinge valores satisfatórios, uma vez que foi considerado como referência para definição de alguns valores, enquanto o *projeto-referência 2* atinge a menor pontuação entre os quatro projetos avaliados, resultado também esperado por se tratar de solução não aconselhável.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Não é tarefa fácil definir padrões aceitáveis de desempenho higrotérmico de habitações de interesse social em um país como o Brasil, onde um dos condicionantes fundamentais de projeto são os custos. Muitas vezes, a satisfação de custos que possam ser praticados pelo poder público ou iniciativa privada, a fim de garantir a moradia para um número maior de famílias, vai de encontro a outras qualidades imprescindíveis da habitação, tal como soluções técnico-construtivas duradouras e a garantia do conforto térmico de seus usuários.

Além das limitações de custo, para um contexto climático como a região de Porto Alegre, com variações significativas de temperatura e umidade do ar num mesmo dia e ao longo do ano, uma solução arquitetônica que satisfaça estes condicionantes torna-se complexa. A necessidade de suprimento de habitação para uma população que vive em condições precárias justifica a prioridade de ser atingido o máximo número possível de moradias num curto período de tempo. No entanto, essa emergência não justifica a adoção de soluções que apenas resolvem o problema desses usuários enquanto seu referencial está preso às suas condições de origem. Este problema evidencia-se quando os moradores acabam por abandonar suas moradias voluntariamente ou por total falta de habitabilidade das mesmas.

Não apenas a população vivendo em condições precárias necessita ser atendida. Usuários que vivem em habitações com qualidade aceitável, de aluguel ou junto a familiares e amigos, também buscam sua autonomia e custos de vida mais reduzidos através da aquisição de sua casa própria. Neste caso, o usuário pode não se submeter a viver em condições aquém daquela de sua origem, buscando um padrão de qualidade para sua moradia igual ou superior da atual. Seja a iniciativa pública ou privada, padrões mínimos para este perfil de usuário devem ser atendidos. No Brasil, até mesmo moradias voltadas para as classes sociais mais abastadas têm apresentado sérios problemas de desempenho higrotérmico e o total descaso com estratégias bioclimáticas que amenizem o consumo energético destas habitações.

A definição de padrões de desempenho térmico não interessa, portanto, apenas à população mais carente. Classes sociais mais favorecidas também ressentem de soluções mais adequadas

para suas moradias e a busca por tais soluções será sempre campo para a averiguação e a descoberta.

Os profissionais de diferentes setores, públicos ou privados, devem ter consciência de sua função social e devem assumir suas responsabilidades no conhecimento e aplicação de diretrizes e recomendações que garantam que as habitações, sejam para qualquer classe social para a qual se destinam, atinjam um desempenho mínimo desejável, principalmente para a situação do Brasil contemporâneo, com poucos recursos para os inumeráveis problemas sociais que possui. O compromisso social dos projetistas, dos investidores, dos financiadores, dos fiscalizadores, da sociedade que tem acesso ao conhecimento e à instrução é de buscar soluções cada vez mais aperfeiçoadas e que possam ser distribuídas equitativamente entre toda a população e não apenas entre os que podem pagar pela qualidade. Isto implica a constante atualização dos envolvidos na cadeia produtiva da habitação de interesse social no Brasil.

Este estudo buscou oferecer uma pequena contribuição para problemas ligados ao desempenho higrotérmico de habitações de interesse social no Brasil, através da proposição de parâmetros térmicos que permitam uma avaliação mais integrada do edifício e não de suas partes tomadas isoladamente, que pode levar a soluções inadequadas. Abordagens empregadas na análise e avaliação do desempenho higrotérmico de habitações unifamiliares de interesse social no Brasil foram apresentadas, demonstrando-se a diversidade de métodos propostos pelos pesquisadores.

Um conjunto de requisitos e critérios simplificados, complementares àqueles propostos pela ABNT, voltados para a avaliação global da edificação, foram definidos a partir de literatura especializada, da opinião de agentes do setor público e de especialistas da área de conforto térmico, considerados de fácil assimilação pelos principais envolvidos na produção de habitações de interesse social.

A análise e avaliação dos quatro projetos selecionados demonstram que é possível alcançar padrões mais elevados de qualidade para habitações térreas e unifamiliares de interesse social com a adoção de estratégias bioclimáticas adequadas.

A proposta final do método de avaliação de desempenho higrotérmico foi apresentada, indicando-se três níveis de desempenho higrotérmico que podem ser atingidos pelas soluções, segundo a pontuação atingida com a aplicação do método nos quatro projetos.

Concluindo o estudo, ficam sugestões para trabalhos futuros:

- a) ampliar o universo dos projetos avaliados através do método para discussão dos parâmetros térmicos adotados, ajuste dos valores de referência e proposta de níveis de qualidade a serem atingidos, conforme os recursos disponíveis para a habitação;
- b) efetuar avaliações pós-ocupação que indiquem o grau de satisfação das populações de diferentes classes sociais com o desempenho higrotérmico atingido pelas suas moradias;
- c) efetuar medições *in loco* mais abrangentes, no mínimo, um ano, que permitam uma análise cruzada do desempenho térmico das habitações de interesse social através de medições, simulações e opinião dos usuários;
- d) divulgar o método proposto junto a um grupo maior de agentes, ligados ao setor público e privado, e especialistas da área de conforto térmico a fim de aperfeiçoar o método;
- e) definir valores de referência para outras regiões brasileiras com clima diverso ao de Porto Alegre;
- f) organizar e promover programas contínuos de atualização dos profissionais ligados à cadeia de produção da habitação de interesse social, em especial, para os agentes responsáveis pelo projeto, avaliação, financiamento, execução e fiscalização deste tipo de edificação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 15220-1: *Desempenho térmico de edificações*: Parte 1: definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro: ABNT, 2005a. 8p.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 15220-2: *Desempenho térmico de edificações*: Parte 2: métodos de cálculo de transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005b. 34p.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15220-3: *Desempenho térmico de edificações*: Parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005c. 28p.
- ABNT – CB-02 - Comitê Brasileiro de Construção Civil. Projeto: 02: 136.01.001. *Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos* – Parte 1: Requisitos Gerais. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004a. 30p.
- ABNT – CB-02 - Comitê Brasileiro de Construção Civil. Projeto: 02: 136.01.004. *Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos* – Parte 4: Fachadas e paredes internas. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004b. 38p.
- ABNT – CB-02 - Comitê Brasileiro de Construção Civil. Projeto: 02: 136.01.007. *Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos* – Parte 5: Coberturas. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004c. 48p.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR6123: *Forças devidas ao vento em edificações*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1987.
- AKUTSO, Maria. *Avaliação de desempenho térmico de edificações*: a necessidade de revisão normativa. In: *Tecnologia das Edificações*. São Paulo: IPT, 1988. p.469-472.
- AKUTSU, Maria; VITTORINO, Fúlvio. Avaliação das condições de conforto térmico e lumínico em conjuntos habitacionais no estado de São Paulo. In: *Encontro Nacional e Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído*. 5., 2..1999. Fortaleza. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 9p.
- AKUTSU, Maria; VITTORINO, Fúlvio. Critério para a definição de níveis de desempenho térmico de edificações. In: *Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído*. 1..1990. [?]. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. p. 69-74.
- AKUTSO, Maria; VITTORINO, Fúlvio; PEDROSO, Nelson Garcia. Conforto térmico. In: *Crítérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 199?. p. 35-47.
- AKUTSO, Maria; VITTORINO, Fúlvio; YOSHIMOTO, Mitsuo. Método expedito para avaliação do desempenho térmico de habitações. In: *Encontro Nacional e Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído*. 3., 1..1995. Gramado. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. p. 299-304.
- ALUCCI, Márcia Peinado. Inadequação climática da edificação: do excessivo consumo de energia ao comprometimento da saúde do usuário. In: *Tecnologia das Edificações*. São Paulo: IPT, 1988. p.499-502.

AROZTEGUI, José Miguel. *Desempenho térmico de janelas: contribuição para o estudo de uma regulamentação de conforto térmico natural nos edifícios*. Porto Alegre: Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 1984. 160p.

AROZTEGUI, José Miguel. *Método para projeto e avaliação de pára-sóis externos visando à otimização do seu desempenho térmico para um clima dado*. Porto Alegre: Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 1980. Caderno Técnico. 63p.

AROZTEGUI, José Miguel. *Parâmetros do conforto térmico para Porto Alegre*. Porto Alegre: Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 1977. 92p. (manuscrito).

AROZTEGUI, José Miguel; BRIZOLARA, A.. *Abordagem do estabelecimento de exigências de desempenho térmico das paredes feitas de concreto de diversos tipos, quando aplicadas à habitação popular*. Porto Alegre: Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 1980. Caderno Técnico. 63p.

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating Air-Conditioning Engineers. *Handbook of fundamentals*. New York: ASHRAE, 2005. (meio digital, não paginado).

BARBOSA, Miriam J.; LAMBERTS, Roberto. Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares, aplicada a Londrina – PR. In: *Ambiente Construído*. Porto Alegre, v. 2, n.1, p 15-28, jan./mar. 2002. ISSN 1415-8876.

BARBOSA, Miriam Jerônimo. *Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares*. 1997. 374f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

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. (com 38 folhas de Anexos)

COSTA, Ennio Cruz da. *Arquitetura ecológica: condicionamento térmico natural*. São Paulo: Edgard Blücher, 1982. 264p.

CROISSET, Maurice. *Humedad y temperatura en los edificios: condensaciones y confort térmico de verano y de invierno*. Barcelona: ETA, 1976. 247p.

DILKIN, Pedro; SCHNEIDER, Paulo Smith. Avaliação térmico das propostas de norma brasileiras para edificações de interesse social. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências Térmicas*. 8. 2000. Porto Alegre / RS. Associação Brasileira de Ciências Mecânicas. 9p.

FANGER, P. O.. *Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering*. New York: McGraw-Hill, 1970, 244p.

FERRARO, L. W.; HASENACK, H.. Aspectos do clima de Porto Alegre. In: ZURITA, M. L. L.; TOLFO, A. M. (org.). *A qualidade do ar em Porto Alegre*. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2000. p.16-27.

FILLIPPÍN, C. Energy use of buildings in central Argentina. *Journal of Building Physics*, vol. 29, 2005, p. 69-89.

FORTES, Amyr Borges. *Geografia física do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Globo, 1959. 393p.

FROTA, Anésia Barros et al.. O conforto térmico nas habitações populares na cidade de São Paulo. In: *Encontro Nacional sobre Conforto do Ambiente Construído*. 7. Conferência Latino-

- Americana sobre conforto e desempenho energético de edificações. 3. 2003. São Pedro. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. p.98-104.
- FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. *Manual de conforto térmico*. São Paulo: Studio Nobel, 1995. 2ª ed. 243p.
- GIVONI, Baruch. Comfort, climate analysis and building design guidelines. *Energy and Buildings*, vol. 18, 1992. p. 11-23.
- GIVONI, Baruch. *Man, climate and architecture*. London: Applied Science, 1981. 483p.
- GOULART, Solange. *Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações em Florianópolis*. 1993. 111f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.
- GOULART, Solange. *Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras*. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção / UFSC, 1997. 345p.
- GOULART, Solange. *Thermal inertia and natural ventilation: optimization of thermal storage as a cooling technique for residential buildings in Southern Brazil*. 2004. 196f. Thesis (Doctor of Philosophy) Architectural Association School of Architecture Graduate School. London.
- GRIGOLETTI, Giane. *Avaliação do protótipo habitacional sustentável Alvorada*. 2001. 16f.. Monografia (Disciplina Seminários de Doutorado I: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil). Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- GRIGOLETTI, Giane; SATTLER, Miguel A.. Estudo comparativo de temperaturas internas obtidas com simulações e medições in loco para um protótipo habitacional de interesse social. In: *Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído e Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável*. 10. 1. 2004. São Paulo. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. p.1083-1091.
- GRIGOLETTI, Giane; SEDREZ, Michel; SATTLER, Miguel A. Avaliação de variáveis relacionadas ao conforto térmico de tipologias habitacionais da vila tecnológica de Porto Alegre. In: *Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*. 9. 2002. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. p.87-95.
- HASSID, Samuel. The effusivity model for multi-layer walls. *International Journal of Solar Energy*, vol. 22, 2002, p. 1-8.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasil. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/html/clima.php?link=/html/climas/mapas>. Obtido em: maio de 2006.
- INO, Akemi; ALVES, Silvana. Análise comparativa de conforto térmico entre um protótipo de madeira e outro de alvenaria inseridos no clima de São Carlos, SP. In: *Encontro Nacional e Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído*. 6.,3. 2001. São Pedro / SP. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 7p.
- ISO – International Organization for Standardization. ISO 13788: *Hygrothermal performance of building components and building elements: internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation: calculation methods*. First Edition. Geneva, 2001, 31p.

ISO – International Organization for Standardization. ISO 13789: *Thermal performance of buildings: transmission heat loss coefficient: calculation method*. First Edition. Geneva, 1999, 8p.

ISO – International Organization for Standardization. ISO 7726: *Ergonomics of the thermal environment: instruments for measuring physical quantities*. Geneva, 1996, 66p.

ISO – International Organization for Standardization. ISO 7730: *Moderate thermal environments: determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort*. Geneva, 1994, 27p.

KRÜGER, Eduardo et al.. Avaliação do desempenho térmico de sistemas construtivos para habitação de interesse social por meio de simulação para o clima de Brasília. In: *Encontro Nacional sobre Conforto do Ambiente Construído*. 7. Conferência Latino-Americana sobre conforto e desempenho energético de edificações. 3. 2003. Curitiba. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. p.1213-1220.

KRÜGER, Eduardo; LAMBERTS, Roberto. Avaliação do desempenho térmico de casas populares. In: *Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*. 8. 2000. Salvador. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 8p.

LAMBERTS, Roberto. Heat transfer through roofs of low cost Brazilian houses. 1988. 145f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) University of Leeds. UK.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando R.. *Eficiência energética na arquitetura*. São Paulo: P. W., 1997. 192p.

LAMBERTS, Roberto; GHISI, Eneidir; PAPST, Ana Lígia. *Desempenho térmico de edificações*. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações/UFSC, 2000. 62p. Apostila da disciplina: ECV5161-Desempenho térmico de edificações.

MAAS, J. van der. Air flow through large openings in buildings. Subtask-2. Technical Report. International Energy Agency. 1992. 168p.

MAAS, J. van der; MALDONADO, E. A new thermal inertia model based on effusivity. *Internacional Journal of Solar Energy*, vol. 19, 1997. p. 131-160.

MARQUARDT, H.. *Determinantes climatológicas para a arquitetura em Porto Alegre e Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: UFRGS, 1969. 117p.

MARKUS, T. A.; MORRIS, E. N. *Buildings, climate and energy*. London: Pitman, 1980. 540p.

MASCARÓ, Juan Luís; MASCARÓ, Lúcia. *Uso racional de energia em edificações: isolamento térmico*. São Paulo: Agência para Aplicação de Energia, 198?. 50p.

MORELLO, Alessandro; SATTler, Miguel A.. Avaliação do desempenho térmico de um protótipo habitacional construído na cidade de Porto Alegre – período de inverno de 2003. In: *Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído e Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável*. 10. 1. 2004. São Paulo. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 14p.

MORELLO, Alessandro. *Avaliação do comportamento térmico do protótipo habitacional Alvorada*. 2005a. 178f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

MORELLO, Alessandro. Dados não publicados fornecidos pelo autor. 2005b.

- MORELLO, Alessandro; SATTLER, Miguel Aloysio. The monitoring of a low cost, more sustainable house. In: *International Conference of Passive and Low Energy Architecture*. 22. 2005c. Lebanon. Beirute Environmental Sustainability. Beirute: NDU Publishing, 2005c. V. 01 p. 39-43.
- OLGYAY, Victor. *Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Barcelona: G. Gilli, 1998. 203p.
- PAPST, Ana Lúcia. *Uso de inércia térmica no clima subtropical: estudo de caso em Florianópolis – SC*. 1999. 180f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.
- PARKER, Danny. *Technical support for development of na attic simulation model for the California Energy Commission*. FSEC-CR-1526-05. USA: Florida Solar Energy Center, 2005. 33p.. Disponível em: http://fsec.ucf.edu/bldg/pubs/techsupport_cec/. Obtido em: maio de 2006.
- PEREIRA, Fernando et al. Uma investigação sobre a adequação climática de habitação de interesse social. In: *Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*. 8. 2000. Salvador. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 8p.
- PIETROBON, Cláudio et al.. Estratégias bioclimáticas para o projeto de edificações: conceituação e aplicação para Maringá, Paraná. In: *Encontro Nacional e Latino-Americano sobre o Conforto no Ambiente Construído*. 6., 3. 2001. São Pedro / SP. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 8p.
- PMPA – Prefeitura Municipal de Porto Alegre. *Mapa digital oficial de Porto Alegre*. Disponível em: <<http://www.portoalegre.rs.gov.br/>>. Acessado em: dezembro de 2005.
- RCCTE – *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*. Portugal. Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios. 2005. Disponível em: <<http://paginas.fe.up.pt/~VPfreita/RCCTE200502.pdf>>. Obtido em: maio 2006.
- RIVERO, Roberto. *Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural*. Porto Alegre: UFRGS / D.C. Luzzatto, 1985. 240p.
- SANTAMOURIS, Mat. (Coord.). *Natural ventilation in buildings: a design handbook*. London: James & James, 1998. 356p.
- SATTLER, Miguel Aloysio. *Computer-based design techniques for the thermal analysis of low cost housing in Brazil, incorporating the use of shading by trees*. 1987. 95f. Thesis (Doctor of Philosophy). Faculty of Architectural Studies. Department of Building Science. University of Sheffield. Sheffield. UK. (com anexos).
- SATTLER, Miguel Aloysio. et al. Environmental comfort perception in the Alvorada sustainable low cost house. In: *Conference on Passive and Low Energy Architecture*. 20. 2003a. Chile. Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica. 6p.
- SATTLER, Miguel Aloysio et al.. Conforto térmico nas habitações da vila tecnológica de Porto Alegre: uma avaliação a partir da percepção de seus moradores. In: *Encontro Nacional sobre Conforto do Ambiente Construído*. 7. Conferência Latino-Americana sobre conforto e desempenho energético de edificações. 3. 2003b. Curitiba. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. p.385-392.
- SATTLER, Miguel Aloysio. *Dias climáticos típicos para o projeto de edificações em Porto Alegre*. Porto Alegre: CIENTEC, 1989.

SCIGLIANO, Sérgio; HOLLO, Vilson. *Índice de ventilação natural – IVN: conforto térmico em edifícios comerciais e industriais em regiões de clima quente*. São Paulo: PINI, 2001, 279p.

SILVA, Antônio César Silveira Baptista da. *Zoneamento bioclimático brasileiro para fins de edificação*. 1994. 103f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

SILVA, Ricardo Dias; BASSO, Admir. *Avaliação do conforto térmico em habitações de interesse social em madeira*. In: *Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*. 9. 2002. Foz do Iguaçu. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. p.213-219.

TURIK, Nelson. *Estabelecimento de exigências de desempenho higrotérmico da envolvente de habitações populares térreas: estudo aplicado à casa COHAB Tipo RS 16_I.3-42*. 1988. 267f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

UBER, Lílian Lütz. *A climatologia aplicada ao ambiente construído*. 1992. 131f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

WINIARSKI, David; O'NEAL, Dennis. *A quase-steady-state modelo for attic heat transfer with radiant barriers*. In: *Energy and Buildings*, n. 24, p. 183-194, 1996.