

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e
Urbanismo.



Dissertação

**Desempenho termo-energético de Habitações de
Interesse Social produzidas pelo Programa de
Arrendamento Residencial – PAR na cidade de
Pelotas/RS.**

Daniela da Rosa Curcio

Pelotas, 2011

Daniela da Rosa Curcio

Desempenho termo-energético de Habitações de Interesse Social produzidas pelo Programa de Arrendamento Residencial – PAR na cidade de Pelotas/RS.

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

Orientador: Prof. Antônio César Silveira Baptista da Silva (UFPeI)
Doutor pela universidade Federal de Santa Catarina

Pelotas, 2011

C975d Curcio, Daniela da Rosa

Desempenho termo-energético de habitações de interesse social produzidas pelo programa de arrendamento residência-Par, na cidade de Pelotas/RS / Daniela da Rosa Curcio; Orientador: Antônio César Silveira Baptista da Silva. – Pelotas, 2011. 180f.

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

1. Desempenho térmico. 2. Conforto térmico. 3. Habitações de interesse social. 4. Normalização de desempenho. I. Silva, Antônio César Silveira Baptista, orient. II. Título.

CDD 720

Banca examinadora

Prof^a. Celina Britto Corrêa (UFPel)

Doutora pela Universidade Politécnica de Madri

Prof. Eduardo Grala da Cunha (UFPel)

Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Joaquim César Pizzutti dos Santos (UFSM)

Doutor Universidade Federal de São Carlos

AGRADECIMENTOS

Em especial ao meu orientador, Prof. Dr. Antônio César Silveira Baptista da Silva pela dedicação, orientação e conhecimento compartilhado.

Ao meu marido Vítor e a minha filha Eduarda pela dedicação, apoio e compreensão em todos os momentos.

Aos familiares e amigos pelo apoio e incentivo tanto para o início quanto para o término deste trabalho.

A colega, e agora amiga, Juliana Pouey pela parceria durante todo esse período, compartilhamos as rotinas, os prazos, as angústias, o conhecimento e também as alegrias do mestrado e da vida.

A todos os demais colegas do Laboratório de Conforto e Eficiência Energética (Labcee) da Universidade Federal de Pelotas, em especial a bolsista Mônica Wilges e ao colega Liader da Silva Oliveira.

Aos moradores dos apartamentos avaliados pela compreensão e colaboração para que este estudo pudesse ser realizado.

E por fim, ao Prof. Antônio César Gonçalves Borges, Reitor desta Universidade, pelo incentivo, confiança, amizade e apoio para a finalização deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho avalia o desempenho termo-energético de habitações de interesse social construídas pelo Programa de Arrendamento Residencial – PAR na cidade de Pelotas/RS. A metodologia adotada baseia-se nas NBR 15575 (2008) - Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos e NBR 15220 (2005) – Desempenho térmico de edificações. Foram realizadas medições de temperatura do ar e umidade relativa em cinco apartamentos, localizados em quatro diferentes conjuntos construídos com diferentes sistemas construtivos, em períodos de verão e inverno. Para avaliação dos dados medidos nos apartamentos foram realizadas análises através de quatro parâmetros, são eles temperatura do ar, graus-hora e grau-médio, Carta Bioclimática e NBR 15575. A confrontação com as normas demonstrou que as habitações atendem mais itens da NBR 15575 do que os da NBR 15220. O empreendimento que apresentou melhor desempenho durante o verão foi o PAR Marcílio Dias, enquanto que, o melhor desempenho no período de inverno foi verificado no PAR Regente. As principais características que evidenciaram estes resultados foram, a adequada orientação solar, no quadrante norte, do apartamento do PAR Regente e as características térmicas das paredes externas do apartamento do PAR Marcílio Dias. Observa-se que na maioria dos apartamentos não são utilizadas estratégias de condicionamento térmico passivo, o que poderia elevar o desempenho térmico das habitações sem aumentos significativos nos custos de execução, se os projetos os projetos executados fossem mais qualificados. O estudo apresenta um diagnóstico da realidade existente, que poderá servir de subsídio para outros estudos e para a melhoria do desempenho térmico das habitações de interesse social das futuras unidades habitacionais que serão construídas.

Palavras-chaves: desempenho térmico, conforto térmico, habitações de interesse social, normalização de desempenho.

ABSTRACT

This paper evaluates the performance of thermal-energy social housing built by Residential Leasing Program - PAR in Pelotas / RS. The methodology is based on the NBR 15575 (2008) - Performance of residential buildings of up to five floors and NBR 15220 (2005) - Thermal performance of buildings. Measurements were made of air temperature and relative humidity in five apartments located in four different sets built with different construction systems in summer and winter periods. To evaluate the measured data in the apartments were analyzed using four parameters, they are air temperature, degree and degree-hour average, Bioclimatic Chart and NBR 15575. The confrontation with the standards showed that the dwellings meet most of the items that the NBR 15575 NBR 15220. The project with the best performance during the summer was the PAR Marcilio Dias, while the best performance during the winter was observed in PAR Regent. The main features that showed these results were the proper solar orientation, in the northern quarter, apartment regent of the PAR and the thermal characteristics of the external walls of the apartment PAR Marcilio Dias. It is observed that in most apartments are not used passive thermal conditioning strategies, which would increase the thermal performance of houses without significant increases in the costs of execution if the projects were executed more qualified. The study presents an analysis of the existing reality, which may serve as input to other studies and to improve the thermal performance of social housing in future housing units to be built.

Keywords: thermal performance, thermal comfort, social housing, standards of performance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Nomograma de Temperatura Efetiva – Yaglow e Houghten.....	31
Figura 1	Gráfico PMV x PPD - Fanger (1970).....	32
Figura 2	Carta Bioclimática de Olgyay (1963).....	33
Figura 3	Carta Bioclimática de Givoni (1992).....	35
Figura 5	Mapa da Zona Urbana de Pelotas.....	64
Figura 6	Mapa com a localização dos conjuntos habitacionais avaliados	65
Figura 7	HOBO modelo H08-003-02.....	66
Figura 8	HOBO modelo H08-032-08.....	66
Figura 9	Inserção do PAR Marcilio Dias na malha urbana da cidade.....	70
Figura 10	Foto PAR Marcilio Dias.....	70
Figura 11	Foto PAR Marcilio Dias.....	70
Figura 12	Identificação do apartamento monitorado na implantação do PAR Marcílio Dias.....	71
Figura 13	Planta-baixa do apartamento com a localização dos HOBO instalados.....	71
Figura 14	Foto ambiente monitorado – sala (a).....	73
Figura 15	Foto ambiente monitorado – sala (b).....	73
Figura 16	Foto ambiente monitorado – dormitório (a).....	73
Figura 17	Foto ambiente monitorado – dormitório (b).....	73

Figura 18	Gráfico da variação das temperaturas médias diárias no período de 28 de janeiro a 28 de fevereiro de 2010.....	77
Figura 19	Gráfico da variação das temperaturas médias diárias no período de 01 de dezembro de 2010 a 17 de janeiro de 2011.....	78
Figura 20	Gráfico da variação da temperatura do ar durante a semana com a maior média de temperatura.....	78
Figura 21	Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a maior média de temperatura.....	79
Figura 22	Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a maior amplitude térmica.....	80
Figura 23	Carta bioclimática com os dados da sala no período de 28 de janeiro a 28 de fevereiro de 2010 e de 01 de dezembro de 2010 a 17 de janeiro de 2011.....	82
Figura 24	Carta bioclimática com os dados externos no período de 28 de janeiro a 28 de fevereiro de 2010 e de 01 de dezembro de 2010 a 17 de janeiro de 2011.....	82
Figura 25	Gráfico da variação da temperatura do ar na seqüência de dias que engloba o dia típico de verão.....	83
Figura 26	Gráfico da variação das temperaturas médias diárias no período de 01 de junho a 11 de julho de 2010.....	84
Figura 27	Gráfico da variação das temperaturas médias diárias no período de 06 de agosto a 31 de agosto de 2010.....	85
Figura 28	Gráfico da variação da temperatura do ar durante a semana com a menor média de temperatura.....	85
Figura 29	Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a menor média de temperatura.....	87
Figura 30	Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a maior amplitude térmica.....	88

Figura 31	Carta bioclimática com os dados da sala do período de 01 de junho a 11 de julho de 2010 e de 06 de agosto a 31 de agosto de 2010.....	90
Figura 32	Carta bioclimática com os dados externos de 01 de junho de 2010 a 11 de julho de 2010 e de 06 de agosto de 2010 a 31 de agosto de 2010.....	90
Figura 33	Gráfico da variação da temperatura do ar na seqüência de dias que engloba o dia típico de inverno.....	91
Figura 34	Inserção do PAR Porto na malha urbana da cidade.....	92
Figura 35	Foto PAR Porto.....	92
Figura 36	Foto PAR Porto.....	92
Figura 37	Identificação do apartamento monitorado na implantação do PAR Porto.....	93
Figura 38	Planta-baixa do apartamento com a localização dos HOBO instalados.....	94
Figura 39	Gráfico da variação das temperaturas médias diárias no período de 28 de janeiro a 31 de março de 2010.....	99
Figura 40	Gráfico da variação da temperatura do ar durante a semana com a maior média de temperatura.....	99
Figura 41	Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a maior média de temperatura.....	101
Figura 42	Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a maior amplitude térmica.....	102
Figura 43	Carta bioclimática com os dados da sala no período de 28 de janeiro a 31 de março de 2010.....	103
Figura 44	Carta bioclimática com os dados externos no período de 28 de janeiro a 31 de março de 2010.....	104
Figura 45	Gráfico da variação da temperatura do ar na seqüência de dias que engloba o dia típico de verão.....	105

Figura 46	Inserção do PAR Solar das Palmeiras na malha urbana da cidade.....	106
Figura 47	Foto PAR Solar das Palmeiras.....	106
Figura 48	Foto PAR Solar das Palmeiras.....	107
Figura 49	Foto PAR Solar das Palmeiras.....	107
Figura 50	Identificação do apartamento monitorado na implantação do PAR Solar das Palmeiras.....	108
Figura 51	Planta-baixa do apartamento com as condições de inverno com a localização dos HOBO instalados.....	108
Figura 52	Planta-baixa do apartamento com as condições de verão, com a localização dos HOBO instalados.....	109
Figura 53	Foto ambiente monitorado no apartamento com condições de inverno – sala.....	111
Figura 54	Foto ambiente monitorado no apartamento com condições de inverno – dormitório.....	111
Figura 55	Foto ambiente monitorado no apartamento com condições de verão – sala.....	111
Figura 56	Foto ambiente monitorado no apartamento com condições de verão – dormitório.....	111
Figura 57	Gráfico da variação das temperaturas médias diárias no período de 12 de janeiro a 28 de fevereiro de 2010.....	116
Figura 58	Gráfico da variação das temperaturas médias diárias no período de 01 de dezembro de 2010 a 05 de janeiro de 2011.....	116
Figura 59	Gráfico da variação da temperatura do ar durante a semana com a maior média de temperatura.....	116
Figura 60	Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a maior média de temperatura.....	118

Figura 61	Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a maior amplitude térmica.....	119
Figura 62	Carta bioclimática com os dados da sala no período de 12 de janeiro a 28 de fevereiro de 2010 e de 01 de dezembro de 2010 a 05 de janeiro de 2011.....	120
Figura 63	Carta bioclimática com os dados da sala no período de 12 de janeiro a 28 de fevereiro de 2010 e de 01 de dezembro de 2010 a 05 de janeiro de 2011.....	121
Figura 64	Gráfico da variação da temperatura do ar na seqüência de dias que engloba o dia típico de verão.....	122
Figura 65	Gráfico da variação das temperaturas médias diárias no período de 01 de junho a 31 de agosto de 2010.....	123
Figura 66	Gráfico da variação da temperatura do ar durante a semana com a menor média de temperatura.....	123
Figura 67	Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a menor média de temperatura.....	124
Figura 68	Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a maior amplitude térmica.....	125
Figura 69	Carta bioclimática com os dados da sala no período de 01 de junho a 31 de agosto de 2010.....	127
Figura 70	Carta bioclimática com os dados externos no período de 01 de junho a 31 de agosto de 2010.....	127
Figura 71	Gráfico da variação da temperatura do ar na seqüência de dias que engloba o dia típico de inverno.....	128
Figura 72	Gráfico da variação das temperaturas médias diárias no período de 28 de janeiro a 31 de março de 2010.....	129
Figura 73	Gráfico da variação da temperatura do ar durante a semana com a maior média de temperatura.....	130

Figura 74	Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a maior média de temperatura.....	131
Figura 75	Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a maior amplitude térmica.....	132
Figura 76	Carta bioclimática com os dados da sala no período de 28 de janeiro a 31 de março de 2010.....	133
Figura 77	Carta bioclimática com os dados externos no período de 28 de janeiro a 31 de março de 2010.....	134
Figura 78	Gráfico da variação da temperatura do ar na seqüência de dias que engloba o dia típico de verão.....	135
Figura 79	Inserção do PAR Regente na malha urbana da cidade.....	136
Figura 80	Foto PAR Regente.....	136
Figura 81	Foto PAR Regente.....	136
Figura 82	Identificação do apartamento monitorado na implantação do PAR Regente.....	137
Figura 83	Planta-baixa do apartamento com a localização dos HOBO instalados.....	138
Figura 84	Foto ambiente monitorado – sala.....	139
Figura 85	Foto ambiente monitorado – dormitório.....	139
Figura 86	Gráfico da variação das temperaturas médias diárias no período de 15 a 28 de fevereiro de 2010.....	143
Figura 87	Gráfico da variação das temperaturas médias diárias no período 01 de dezembro de 2010 a 18 de janeiro de 2011.....	143
Figura 88	Gráfico da variação da temperatura do ar durante a semana com a maior média de temperatura.....	144
Figura 89	Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a maior média de temperatura.....	145

Figura 90	Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a maior amplitude térmica.....	146
Figura 91	Carta bioclimática com os dados da sala no período de 28 de janeiro a 28 de fevereiro de 2010 e de 01 de dezembro de 2010 a 18 de janeiro de 2011.....	148
Figura 92	Carta bioclimática com os dados externos no período de 28 de janeiro a 28 de fevereiro de 2010 e de 01 de dezembro de 2010 a 18 de janeiro de 2011.....	148
Figura 93	Gráfico da variação da temperatura do ar na seqüência de dias que engloba o dia típico de verão.....	149
Figura 94	Gráfico da variação das temperaturas médias diárias no período de 01 de junho a 11 de julho de 2010.....	150
Figura 95	Gráfico da variação das temperaturas médias diárias no período de 06 de agosto a 31 de agosto de 2010.....	150
Figura 96	Gráfico da variação da temperatura do ar durante a semana com a menor média de temperatura.....	151
Figura 97	Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a menor média de temperatura.....	152
Figura 98	Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a maior amplitude térmica.....	153
Figura 99	Carta bioclimática com os dados da sala no período de 01 de junho a 11 de julho de 2010 e de 06 de agosto a 31 de agosto de 2010.....	154
Figura 100	Carta bioclimática com os dados externos no período de 01 de junho a 11 de julho de 2010 e de 06 de agosto a 31 de agosto de 2010.....	155
Figura 101	Gráfico da variação da temperatura do ar no dia típico de inverno.....	156

Figura 102	Gráfico da variação da temperatura do ar durante a semana com a maior média de temperatura nos empreendimentos.....	159
Figura 103	Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a maior média de temperatura.....	160
Figura 104	Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a maior amplitude térmica.....	161
Figura 105	Gráfico da variação da temperatura do ar no dia típico de verão.	161
Figura 106	Gráfico da variação da temperatura do ar durante a semana com a menor média de temperatura.....	164
Figura 107	Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a menor média de temperatura.....	165
Figura 108	Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a maior amplitude térmica.....	166
Figura 109	Gráfico da variação da temperatura do ar no dia típico de inverno.....	166

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Recomendações para a zona bioclimática 2 segundo NBR 15220.....	42
Tabela 2	Critérios para avaliação de desempenho térmico pelo método de medição na Zona Bioclimática 2 segundo NBR 15575.....	45
Tabela 3	Recomendações para desempenho térmico mínimo na zona bioclimática 2 segundo NBR 15575 – fachadas e paredes internas.....	46
Tabela 4	Recomendações para desempenho térmico mínimo na zona bioclimática 2, segundo NBR 15575 – coberturas.....	46
Tabela 5	Critérios para avaliação de desempenho térmico segundo NBR 15220 e NBR 15575 para a Zona Bioclimática 2 (adaptada do modelo apresentado por GRIGOLETTI 2007, para a Zona Bioclimática 3).....	47
Tabela 6	Empreendimentos realizados em Pelotas.....	62
Tabela 7	Levantamento das características construtivas dos edifícios.....	63
Tabela 8	Normais climatológicas de Pelotas – período 1971 a 2000.....	68
Tabela 9	Propriedades térmicas dos componentes construtivos.....	72
Tabela 10	Áreas compartimentos e área útil de ventilação.....	72
Tabela 11	Somatório graus-hora para refrigeração.....	81
Tabela 12	Somatório graus-hora para aquecimento.....	81
Tabela 13	Somatório graus-hora para aquecimento.....	89
Tabela 14	Somatório graus-hora para refrigeração.....	89
Tabela 15	Propriedades térmicas dos componentes construtivos.....	94
Tabela 16	Áreas compartimentos e área útil de ventilação.....	95

Tabela 17	Somatório graus-hora para refrigeração.....	102
Tabela 18	Somatório de graus-hora para aquecimento.....	103
Tabela 19	Propriedades térmicas dos componentes construtivos.....	109
Tabela 20	Áreas compartimentos e área útil de ventilação.....	110
Tabela 21	Somatório graus-hora para refrigeração.	119
Tabela 22	Somatório graus-hora para aquecimento.....	120
Tabela 23	Somatório graus-hora para aquecimento.....	126
Tabela 24	Somatório graus-hora para refrigeração.....	126
Tabela 25	Somatório graus-hora para refrigeração.....	132
Tabela 26	Somatório graus-hora para aquecimento.....	133
Tabela 27	Propriedades térmicas dos componentes construtivos.....	138
Tabela 28	Áreas compartimentos e área útil de ventilação.....	139
Tabela 29	Somatório graus-hora para refrigeração.....	146
Tabela 30	Somatório graus-hora para aquecimento.....	147
Tabela 31	Somatório graus-hora para aquecimento.....	153
Tabela 32	Somatório graus-hora para refrigeração.....	154
Tabela 33	Resumo do cumprimento das diretrizes recomendadas NBR 15220.....	157
Tabela 34	Resumo do cumprimento das recomendações para desempenho térmico mínimo segundo a NBR 15575.....	158
Tabela 35	Quadro resumo somatório graus-hora para refrigeração.....	162
Tabela 36	Quadro resumo condições de conforto no verão – Carta Bioclimática.....	162
Tabela 37	Quadro resumo condições de conforto no verão – NBR 15575.....	163
Tabela 38	Somatório graus-hora para aquecimento.....	167
Tabela 39	Quadro resumo condições de conforto no inverno – Carta Bioclimática.....	167
Tabela 40	Quadro resumo condições de conforto no inverno – NBR 15575..	168
Tabela 41	Quadro resumo condições conforto no verão, orientação solar e características construtivas.....	169
Tabela 41	Quadro resumo condições conforto no inverno, orientação solar e características construtivas.....	170

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*
BNH – Banco Nacional de Habitação
CEF – Caixa Econômica Federal
CIENTEC – Fundação de Ciência e Tecnologia
ELETROBRAS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EqNumEnv – Equivalente numérico da envoltória
EqNumEnvA. – Equivalente numérico da envoltória do ambiente
EqNumEnv_{Resfr.} – Equivalente numérico da envoltória para resfriamento
EqNumEnv_R – Equivalente numérico da envoltória para refrigeração
FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos
FOA – Frequência de ocorrência acumulada
Inmetro – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISO – *International Organization for Standardization*
NBR – Norma Brasileira
PAR – Programa de Arrendamento Residencial
PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem
PBQP-*Habitat* – Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do *Habitat*
PMV – Voto médio pródigo
PPD – Porcentagem prevista de insatisfeitos
PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PROCEL EDIFICA – Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações
PSH – Programa de subsídio à Habitação de Interesse Social

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

Tb – Temperatura base

T_{méd.} – Temperatura média diária

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UH – Unidade Habitacional Autônoma

Sumário

1. Introdução	23
1.1. Apresentação do Tema	23
1.2. Delimitação do Problema de Pesquisa.....	25
1.3. Objetivos	27
1.3.1. Objetivo geral	27
1.3.2. Objetivos específicos.....	27
1.4. Estrutura da dissertação.....	27
2. Revisão Bibliográfica	29
2.1. Conforto térmico	29
2.2. Índices e zonas de conforto.....	30
2.2.1. Temperatura Efetiva	30
2.2.2. Voto Médio Predito	31
2.2.3. Carta Bioclimática de Olgyay	32
2.2.4. Carta Bioclimática Givoni	34
2.2.5. Graus-dia e Graus-hora.....	36
2.3. Arquitetura bioclimática	37
2.4. Normalização de desempenho térmico no Brasil	40
2.4.1. NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações	41
2.4.2. NBR 15575 – Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos	42
2.4.3. Considerações sobre as Normas	46
2.5. Pesquisas realizadas no Brasil sobre desempenho térmico	49
2.5.1. Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT.....	49
2.5.2. Metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações unifamiliares.....	53
2.5.3. Avaliação do comportamento térmico do protótipo habitacional Alvorada	54
2.5.4. Avaliação do desempenho térmico de habitações sociais de Passo Fundo .55	
2.5.5. Método de avaliação de desempenho higrotérmico de habitações de interesse social.....	56
2.5.6. Desempenho térmico de edificações multifamiliares de interesse social em conjuntos habitacionais na cidade de Santa Maria/RS	58

2.6. O PAR em Pelotas	59
3. Metodologia e obtenção de dados	61
3.1. Definição do objeto de estudo	61
3.2. Medições de temperatura e umidade nos apartamentos	65
3.3. Coleta de dados	66
3.4. Definição dos períodos de análise	67
4. Apresentação e análise dos dados	69
4.1. PAR Marcílio Dias	70
4.1.1. Características construtivas	70
4.1.2. Avaliação prescritiva.....	74
4.1.2.1. NBR 15220	74
4.1.2.2. NBR 15575.....	75
4.1.3. Avaliação a partir dos dados obtidos nas medições.....	77
4.1.3.1. Comportamento térmico no verão	77
4.1.3.1.1. Temperatura do ar.....	77
4.1.3.1.2. Graus-hora e grau-médio	81
4.1.3.1.3. Carta bioclimática.....	81
4.1.3.1.4. NBR 15.575.....	83
4.1.3.2. Comportamento térmico no inverno	84
4.1.3.2.1. Temperatura do ar.....	84
4.1.3.2.2. Graus-hora e grau-médio	88
4.1.3.2.3. Carta bioclimática.....	89
4.1.3.2.4. NBR 15.575.....	91
4.2. PAR Porto	92
4.2.1. Características construtivas	92
4.2.2. Avaliação prescritiva.....	95
4.2.2.1. NBR 15220	95
4.2.2.2. NBR 15575.....	97
4.2.3. Avaliação a partir dos dados obtidos nas medições.....	98
4.2.3.1. Comportamento térmico no verão	98
4.2.3.1.1. Temperatura do ar.....	98
4.2.3.1.2. Graus-hora e grau-médio	102

4.2.3.1.3. Carta bioclimática.....	103
4.2.3.1.4. NBR 15.575.....	104
4.3. PAR Solar das Palmeiras.....	106
4.3.1. Características construtivas	106
4.3.2. Avaliação prescritiva.....	112
4.3.2.1. NBR 15220.....	112
4.3.2.2. NBR 15575.....	114
4.3.3. Avaliação a partir dos dados obtidos nas medições.....	115
4.3.3.1. Comportamento térmico no verão – apartamento condições de inverno. .	115
4.3.3.1.1. Temperatura do ar.....	115
4.3.3.1.2. Graus-hora e grau-médio	119
4.3.3.1.3. Carta bioclimática.....	120
4.3.3.1.4. NBR 15.575.....	121
4.3.3.2. Comportamento térmico no inverno – apartamento condições de inverno.	122
4.3.3.2.1. Temperatura do ar.....	123
4.3.3.2.2. Graus-hora e grau-médio	125
4.3.3.2.3. Carta bioclimática.....	126
4.3.3.2.4. NBR 15.575.....	128
4.3.3.3. Comportamento térmico no verão – apartamento condições de verão.	127
4.3.3.3.1. Temperatura do ar.....	129
4.3.3.3.2. Graus-hora e grau-médio	132
4.3.3.3.3. Carta bioclimática.....	133
4.3.3.3.4. NBR 15.575.....	134
4.4. PAR Regente	136
4.4.1. Características construtivas	136
4.4.2. Avaliação prescritiva.....	140
4.4.2.1. NBR 15220.....	140
4.4.2.2. NBR 15575.....	141
4.4.3. Avaliação a partir dos dados obtidos nas medições.....	142
4.4.3.1. Comportamento térmico no verão	142
4.4.3.1.1. Temperatura do ar.....	143
4.4.3.1.2. Graus-hora e grau-médio	146
4.4.3.1.3. Carta bioclimática.....	147

4.4.3.1.4. NBR 15.575.....	149
4.4.3.2. Comportamento térmico no inverno	149
4.4.3.2.1. Temperatura do ar.....	150
4.4.3.2.2. Graus-hora e grau-médio	153
4.4.3.2.3. Carta bioclimática.....	154
4.4.3.2.4. NBR 15.575.....	155
4.5. Análise dos resultados	156
4.5.1. Comparação dos empreendimentos – método prescritivo.	156
4.5.2. Comparação dos empreendimentos – método medição.	159
4.5.2.1. Comportamento térmico no verão.	159
4.5.2.1.1. Temperatura do ar	159
4.5.2.1.2. Graus-hora e grau-médio	161
4.5.2.1.3. Carta bioclimática.....	162
4.5.2.1.4. NBR 15.575.....	163
4.5.2.2. Comportamento térmico no inverno.	163
4.5.2.2.1. Temperatura do ar	163
4.5.2.2.2. Graus-hora e grau-médio	166
4.5.2.2.3. Carta bioclimática.....	167
4.5.2.2.4. NBR 15.575.....	168
4.5.3. Resumo resultados método medição.	167
5. Conclusões.....	171
Referências bibliográficas	175

1. INTRODUÇÃO

1.1. Apresentação do Tema

Desde os primórdios da humanidade o homem buscou proteger-se das intempéries e procurou utilizar-se dos meios que estavam disponíveis no ambiente para reduzir o frio, o calor, a umidade e a secura de suas construções.

No transcurso da história da arquitetura podemos constatar esta preocupação em exemplos da arquitetura e do urbanismo grego e romano, e até mesmo na arquitetura vernacular das casas indígenas. Estes exemplos têm como princípio aproveitar as características do local, fazendo com que o espaço construído se adapte à topografia, à vegetação e ao clima, construindo espaços no qual o homem encontre conforto, no mais amplo sentido do termo.

No seu Tratado de Arquitetura, Vitrúvio (séc. I a.C.) aponta em vários trechos a preocupação com o conforto ambiental. Ele aborda o tema desde a escolha dos sítios para a implantação das cidades, as características que devem ter a implantação urbana e a disposição dos edifícios de acordo com a zona e latitude que serão construídos até o conforto interno da casa, fazendo recomendações sobre a orientação dos compartimentos e a importância da iluminação natural. (VITRÚVIO, 2007).

Com a Revolução Industrial foram introduzidos novos materiais, como o aço, o concreto armado e o vidro. Mesmo assim as tradições construtivas ocidentais, em alvenarias de pedra, persistiram até o século XX.

Após a II Guerra Mundial as grandes transformações sociais, econômicas e a revolução tecnológica mudaram o quadro da arquitetura. A necessidade de ostentar o progresso, o poder econômico e a abundância de tecnologia criaram um padrão globalizado e fez com que, sobretudo nos tempos contemporâneos, muitas vezes se desconsiderasse a questão ambiental na arquitetura.

A discussão sobre o conforto ambiental surge num esforço de se resgatar a arquitetura adaptada ao clima local diante de outras intenções como a monumental, a produtiva ou a representativa.

Neste contexto se insere o conceito de Arquitetura Bioclimática, que busca por meio de seus próprios elementos, a execução de edificações adaptadas às condições climáticas, para proporcionar aos usuários ambientes termicamente agradáveis e que ao mesmo tempo economizem energia. (LAMBERTS, et al., 2004)

Com o intuito de encontrarmos a resposta para a execução de uma edificação adaptada às condições climáticas de um lugar, surge a busca por alternativas e estratégias projetuais e espaciais que garantam a qualidade do ambiente construído. Qualidade esta que está diretamente ligada à adequada relação entre construção, meio ambiente e usuário.

A ausência desta integração conduz à edificações com baixa qualidade ambiental ou dependentes de sistemas artificiais para controlar o ambiente interior, consumindo energia além do necessário, com sistemas de iluminação e de condicionamento térmico.

Em todos os âmbitos de avaliação de desempenho térmico e redução de consumo, talvez o das Habitações de Interesse Social seja um dos mais importantes, já que seus usuários têm menor poder aquisitivo e na maioria das vezes não dispõem de recursos financeiros para arcar com uma climatização artificial para compensar o desconforto térmico.

Quando tratamos de Habitações de Interesse Social o baixo custo é fator determinante para a viabilização dos empreendimentos, o que acaba acarretando em alguns casos o uso de tecnologias construtivas e materiais inadequados no que se refere à resistência, manutenção e propriedades térmicas. Os usos destes materiais inadequados agravam ainda mais os problemas de conforto térmico nessas habitações.

Desde 1981, estudos têm sido desenvolvidos no Brasil com o intuito de avaliar o conforto térmico de edificações residenciais e desenvolver novos métodos para a sua avaliação, visando à melhoria do seu desempenho térmico para a realidade de cada local.

As primeiras pesquisas foram realizadas pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). O primeiro trabalho “Conforto: Avaliação de Desempenho de Habitações Térreas (1981), foi desenvolvido para o

Banco Nacional de Habitação - BNH, podemos destacar ainda outros trabalhos realizados no IPT, AKUTSU (1987) e AKUTSU e VITTORINO (1991, 1993, 1995).

Depois podem ser destacadas pesquisas realizadas na Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul (CIENTEC), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

A normalização para avaliar o desempenho térmico e energético de edificações no Brasil é recente e é resultado do desenvolvimento destes, entre outros, estudos realizados em centros de pesquisa e universidades.

Atualmente, temos duas normas em vigor, são elas a NBR 15.220 – Desempenho térmico de edificações e a NBR 15575 – Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos.

1.2. Delimitação do Tema de Pesquisa

Nos últimos anos, o poder público tem tomado iniciativas importantes com o intuito de, se não solucionar, pelo menos amenizar o déficit habitacional brasileiro.

Com o objetivo geral de elevar os patamares da qualidade e produtividade da construção civil, em 1998 o governo federal instituiu o Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do *Habitat* (PBQP – *Habitat*), visando por meio da criação e implantação de mecanismos de modernização tecnológica e gerencial, contribuir para ampliar o acesso à moradia, em especial para a população de baixa renda.

Em 2004 elaborou a Política Nacional de Habitação cujo objetivo principal é promover condições de acesso à moradia digna a todos os segmentos da população, especialmente o de baixa renda, contribuindo, assim, para a inclusão social.

A implantação desta Política obedece a princípios e diretrizes e, dentre outras ações, busca a implementação de ações voltadas à sustentabilidade do ambiente construído, englobando as fases de elaboração de projeto e execução da obra, objetivando a redução do desperdício, aumento da vida útil das construções, aproveitamento dos resíduos gerados e aplicação de padrões mínimos de conforto ambiental. (Política Nacional de Habitação, 2004).

Um dos instrumentos de ação desta Política Nacional de Habitação são os Programas Habitacionais. Neste estudo será destacado o Programa de Arrendamento Residencial – PAR, pois desde 2001 viabilizou a execução de 17

empreendimentos, totalizando 2.997 novas unidades habitacionais construídas na cidade de Pelotas/RS.

Porém, mesmo com estas iniciativas, alguns estudos recentes têm demonstrado que em relação às condições de qualidade habitacional, não temos avanços significativos.

Damé (2008) afirma que o PAR assume uma grave característica, comum aos programas de provimento habitacional: a produção em larga escala que estimula a repetição desenfreada de tipologias e tipos.

Rotta (2009) coloca que se percebe a massificação na produção de moradias, desconsiderando aspectos importantes como as características do clima e a escolha de técnicas e materiais adequados à realidade local. No seu trabalho, ela demonstra problemas em relação ao desempenho térmico em conjuntos habitacionais produzidos pelo PAR na cidade de Santa Maria e aponta que questões relacionadas ao conforto térmico acabam relevadas a um segundo plano e que as questões econômicas acabam servindo como justificativa para a utilização de tecnologias e materiais inadequados e para projetos arquitetônicos padronizados.

As habitações resultantes deste programa são compactas e, possuem pouca flexibilidade quanto à organização do espaço, ventilação e orientação solar nem sempre adequada, em função da posição das habitações nos blocos, que variam entre quatro e cinco pavimentos.

Cabe salientar que o PAR é um programa que exige renda mínima familiar de 2 a 6 salários mínimos e o perfil dos moradores destes empreendimentos, se constitui em grande parte por pessoas com formação média ou superior que conseguiram sair da situação de locatários de imóveis (VIEIRA et al, 2008).

Acredita-se que, através da adoção de medidas simples, baseadas em princípios bioclimáticos, seja possível desenvolver Habitações de Interesse Social, que apresentem melhor desempenho térmico, sem que seja necessário investir muito além dos recursos já investidos atualmente com as construções sociais.

A implantação recente das NBR 15220 (2005) e NBR 15575 (2008) é um passo importante em direção à melhor qualidade das habitações voltadas à população de baixa renda, especialmente na busca de um melhor desempenho térmico destas habitações

Dentro deste contexto, torna-se fundamental que se realizem estudos e pesquisas que confrontem a realidade existente com as recomendações e

metodologias recomendadas pelas normas, pois estas devem ser continuamente discutidas e melhoradas à medida que são postas em prática.

Diante do exposto, pretende-se avaliar o desempenho térmico das Habitações de Interesse social produzidas na cidade de Pelotas/RS pelo Programa de Arrendamento Residencial e apontar melhorias de projeto que possam colaborar para que se alcancem condições mais adequadas de conforto.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo geral

Avaliar o desempenho termo-energético das Habitações de Interesse Social produzidas na cidade de Pelotas/RS através do Programa de Arrendamento Residencial – PAR e apontar melhorias de projeto que possam contribuir para elevar o nível de conforto térmico destas habitações.

1.3.2. Objetivos específicos

- Levantamento dos empreendimentos realizados na cidade de Pelotas pelo Programa de Arrendamento Residencial;
- Identificar as variáveis que intervêm no desempenho térmico das edificações;
- Avaliar o desempenho térmico das unidades habitacionais;
- Identificar os elementos arquitetônicos, sistemas construtivos, características de implantação, entorno, forma e orientação solar que influenciaram nos resultados;
- Propor melhorias que possam contribuir para elevar os níveis de conforto térmico nas Habitações de Interesse Social.

1.4. Estrutura da dissertação

A estrutura da dissertação para a realização da pesquisa é composta por cinco capítulos

No capítulo I é apresentada uma introdução ao tema, são expostos o objetivo geral, os objetivos específicos e a delimitação do problema de pesquisa.

Dentro do capítulo II é apresentada a revisão bibliográfica. São apresentados os conceitos relacionados ao conforto térmico e os seus parâmetros de avaliação, a arquitetura bioclimática e as normas brasileiras para avaliação de desempenho térmico de edifícios. Também neste capítulo são apresentadas as características climáticas da cidade de Pelotas, as diretrizes bioclimáticas para a zona em que a cidade está inserida e os trabalhos semelhantes desenvolvidos.

O capítulo III apresenta a metodologia aplicada ao estudo. São identificados os empreendimentos realizados pelo PAR, apresentadas análises tipológicas e construtivas com o intuito de definir o objeto de verificação para o estudo. São apresentados os equipamentos utilizados e o método para coleta de dados.

No capítulo IV são apresentadas as análises dos dados coletados e comparações dos resultados encontrados a partir dos diferentes métodos e categorias de avaliações.

Por fim, no capítulo V, são expostas e discutidas as conclusões sobre a avaliação de desempenho térmico realizado nas habitações. São apresentadas também considerações finais sobre a pesquisa e sugestões para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Conforto térmico

As exigências humanas de conforto térmico estão relacionadas com o funcionamento do seu organismo.

O homem é um ser homeotérmico¹, portanto precisa liberar calor em quantidade suficiente para que sua temperatura interna se mantenha na ordem de 37°C.

A manutenção da temperatura interna do organismo humano se faz por intermédio de seu sistema termorregulador, que comanda os ganhos e as perdas de calor através de alguns mecanismos de controle. A pele é o principal órgão do sistema termorregulador do organismo humano.

A ASHRAE (1992) define conforto térmico como “... *um estado da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa*”. Já Givoni (1976), define como “*a ausência de irritação e incomodo devido ao calor ou frio.*”

Segundo Frota e Schiffer (2003) o organismo humano experimenta sensação de conforto térmico quando perde para o ambiente, sem recorrer a nenhum mecanismo de termorregulação, o calor produzido pelo metabolismo compatível com sua atividade.

Para Lamberts (1997), se o balanço de todas as trocas de calor que está submetido o corpo for nulo e a temperatura da pele e suor estiverem dentro de certos limites, pode-se dizer que o homem sente conforto térmico.

A NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações – Parte 1: Definições, símbolos e unidades apresenta como definição para conforto térmico “*satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente.*”

¹ Organismos homeotérmicos mantêm sua temperatura interna relativamente constante por mecanismos fisiológicos de acordo com a produção e perda de calor metabólico.

Este equilíbrio térmico é obtido através do efeito conjugado e simultâneo de um conjunto de variáveis. Temos neste conjunto as variáveis humanas – metabolismo e vestimenta – e as variáveis ambientais – temperatura do ar, temperatura média radiante, umidade relativa e velocidade do ar.

Em função da quantidade e natureza destas variáveis, a estimativa da sensação de conforto torna-se bastante complexa e somente pode ser verificada através de índices de conforto (SILVA, 2004).

Além destas variáveis, fatores como sexo, idade, raça, peso, e o grau de aclimação ao meio, podem exercer influência nas condições de conforto de cada pessoa.

2.2. Índices e zonas de conforto

Com o intuito de quantificar o comportamento do homem frente às variações climáticas do ambiente, alguns pesquisadores criaram diferentes índices de conforto térmico.

Estes índices procuram avaliar o efeito conjunto das variáveis de conforto térmico estabelecendo limites e condicionantes. De maneira geral, são desenvolvidos fixando um tipo de atividade e vestimenta ao indivíduo para, a partir daí, relacionar as variáveis ambientais (FROTA; SCHIFFER, 2003).

Os índices de conforto expressam a relação de causa e efeito entre as variáveis, com a utilização de valores numéricos representativos do fenômeno. Com base nos índices estabelecem-se as escalas de conforto que são representadas graficamente através de cartas ou diagramas. Estas escalas limitam parâmetros físicos e delimitam as zonas de conforto.

Segundo Frota e Schiffer (2003) existem cerca de três dezenas de índices de conforto térmico. Porém serão apresentados apenas os mais importantes e usuais.

2.2.1. Temperatura Efetiva

O índice da Temperatura Efetiva, de Yaglow e Houghten, elaborado em 1923, foi encomendado pela ASHRAE. Foi definido pela correlação entre as condições de temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido e velocidade do ar. Essas correlações são apresentadas sob a forma de nomograma. É um índice subjetivo,

em síntese traduz a sensação térmica. A Temperatura Efetiva de conforto está entre os 22° e 27C°.

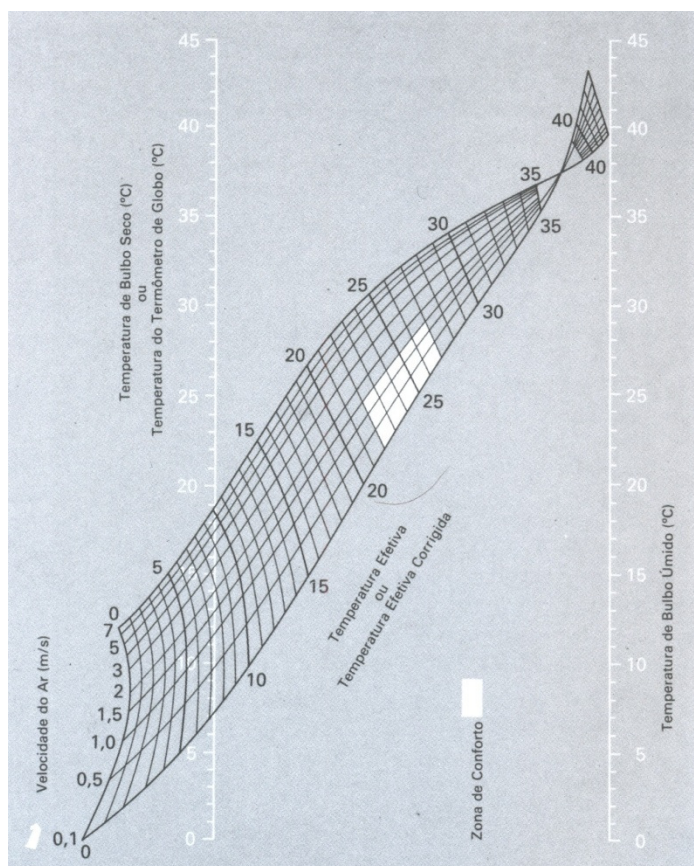


Figura 1: Nomograma de Temperatura Efetiva – Yaglow e Houghten (1923)
Fonte: FROTA; SCHIFFER, 2003, p.179.

2.2.2. Voto Médio Predito

O Voto Médio Predito (PMV – Predicted Mean Vote) foi o método desenvolvido por Fanger (1970) e é considerado o índice de conforto mais completo e detalhado desenvolvido até hoje. Este índice deriva de uma equação de conforto que resume todos os processos de trocas de calor entre o corpo e o ambiente. Ele faz uma relação considerando todas as variáveis (humanas e ambientais) que influenciam nas sensações térmicas do indivíduo.

Através de trabalho experimental, Fanger avaliou pessoas de diferentes nacionalidades, idades e sexos, obtendo o voto médio predito (PMV) para determinadas condições ambientais. O voto médio predito consiste em um valor numérico que traduz a sensibilidade humana ao frio e ao calor. O PMV para conforto térmico é zero, para o frio é negativo e para o calor é positivo, numa escala que

varia de -3 a +3. Como resultado, seu índice é capaz de prever estatisticamente a Porcentagem Prevista de Insatisfeitos (PPD, do inglês) para as condições analisadas. O método considera o limite de conforto as condições que apresentam PPD inferior a 20%.

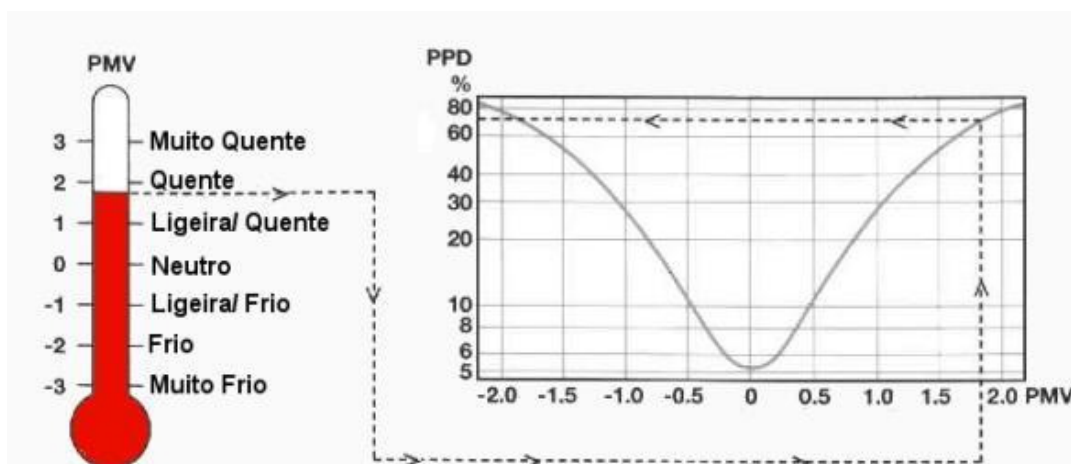


Figura 2: Gráfico PMV x PPD - Fanger (1970)
Fonte: MORELLO, 2005, p. 34.

Desde 1984, ele é a base da International Organization for Standardization – ISO 7730 para a avaliação do conforto térmico de ambientes, sendo, portanto um dos índices mais utilizados. Apesar de basear-se neste índice a ISO 7730 limita o PPD em 10% como condição de conforto e não os 20% considerados no trabalho original de Fanger.

Em 2005, a ISO 7730 sofreu a sua última atualização, foram adicionadas categorias de conforto, com as seguintes condições: categoria A com PPD < 6%; categoria B com PPD < 10%; e categoria C com PPD < 15%. (VOLTANI, 2009).

Desde 1984, várias pesquisas foram realizadas para testar o modelo adotado pela ISO 7730. No Brasil podemos citar alguns trabalhos que utilizaram o critério PMV/PPD nas avaliações de conforto térmico: Araújo (1996); Xavier e Lamberts (1997), Barbosa (1997); Xavier (2000), Lassarotto e Santos (2007) e Voltani (2009).

2.2.3. Carta Bioclimática de Olgyay – 1963

A carta bioclimática de Olgyay foi desenvolvida a partir de estudos sobre o efeito do clima sobre o homem, de zonas de conforto e de relações entre elementos de clima e conforto. Esta Carta apresenta-se sob forma de diagrama gráfico. Foi

construída sobre dois eixos tendo como ordenada (eixo y) a temperatura de bulbo seco e a como abscissa (eixo x) a umidade relativa do ar.

Na região central da Carta está delimitada a zona de conforto. As condições de temperatura e umidade do ar podem ser determinadas sobre ela.

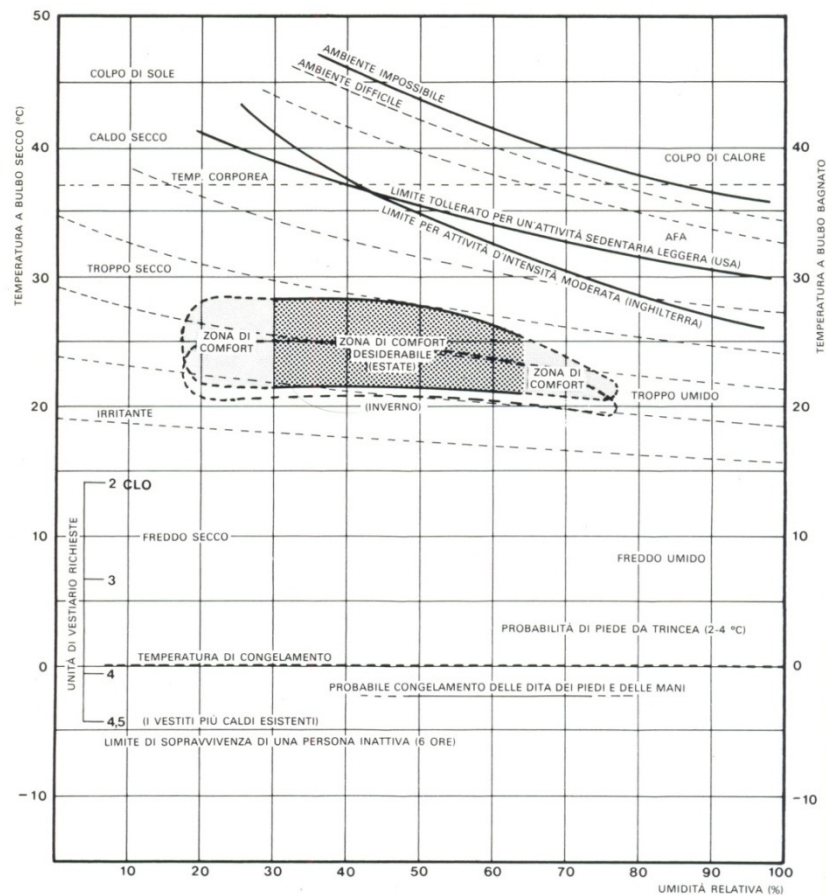


Figura 3: Carta Bioclimática de Olgay (1963)
Fonte: OLGAY, 1990, p.38.

Se os pontos determinados por essas variáveis se localizarem fora da zona de conforto, há necessidade de serem tomadas medidas corretivas. Se o ponto estiver acima da zona de conforto, será necessário recorrer-se ao movimento do ar. Quanto à região abaixo do limite inferior da zona de conforto, as linhas representam a radiação necessária para atingir a zona de conforto, quer em termos de radiação solar quer em termos de aquecimento do ambiente (FROTA; SCHIFFER, 2003).

2.2.4. Carta Bioclimática Givoni – 1969

Uma carta bioclimática para o edifício foi desenvolvida por Givoni, para corrigir algumas limitações do diagrama bioclimático idealizado por Olgyay.

As diferenças e correções foram analisadas por Barbosa (1997). Ela aponta como principal diferença entre os dois sistemas o fato de que ao invés de ser apresentado sobre dois eixos, como o diagrama de Olgyay, a Carta de Givoni é traçada sobre uma carta psicrométrica convencional.

Outra diferença entre os dois sistemas é que Givoni se baseia em temperaturas internas ao edifício, que foram obtidas através de cálculos, enquanto que o diagrama de Olgyay se baseia estritamente nas condições externas. Mesmo assim as estratégias de projeto sugeridas no diagrama de Olgyay são para o interior, o que segundo Givoni (1992) é uma incoerência.

Em ambos os sistemas desenvolvidos por Olgyay e Givoni são apresentadas alternativas para dilatar a zona de conforto, por meio de estratégias arquitetônicas, que modificam a sensação do clima interno do ambiente. (BARBOSA, 1997)

Ainda segundo Barbosa (1997), o diagrama bioclimático de Olgyay sugere que as condições de temperatura e umidade sejam plotadas como curvas fechadas ou ciclogramas das médias diárias (hora por hora), para cada mês, de uma dada localidade. Na carta bioclimática de edifícios de Givoni, o clima local pode ser representado mês a mês por dois pontos, cujas coordenadas são as médias mensais de temperatura e umidade diária do ar externo e a média das máximas e a média das mínimas temperaturas, o que não impede que sejam plotadas condições climáticas com a periodicidade que se desejar, inclusive dados horários.

Este diagrama serve para comprovar ao mesmo tempo a exigência humana, o rigor do clima local e a resposta qualitativa global de soluções arquitetônicas, segundo Izard e Guyot (1983).

Em seu trabalho, Givoni (1992) descreve a sua carta bioclimática para países desenvolvidos e países em desenvolvimento, com suas estratégias para projetos.

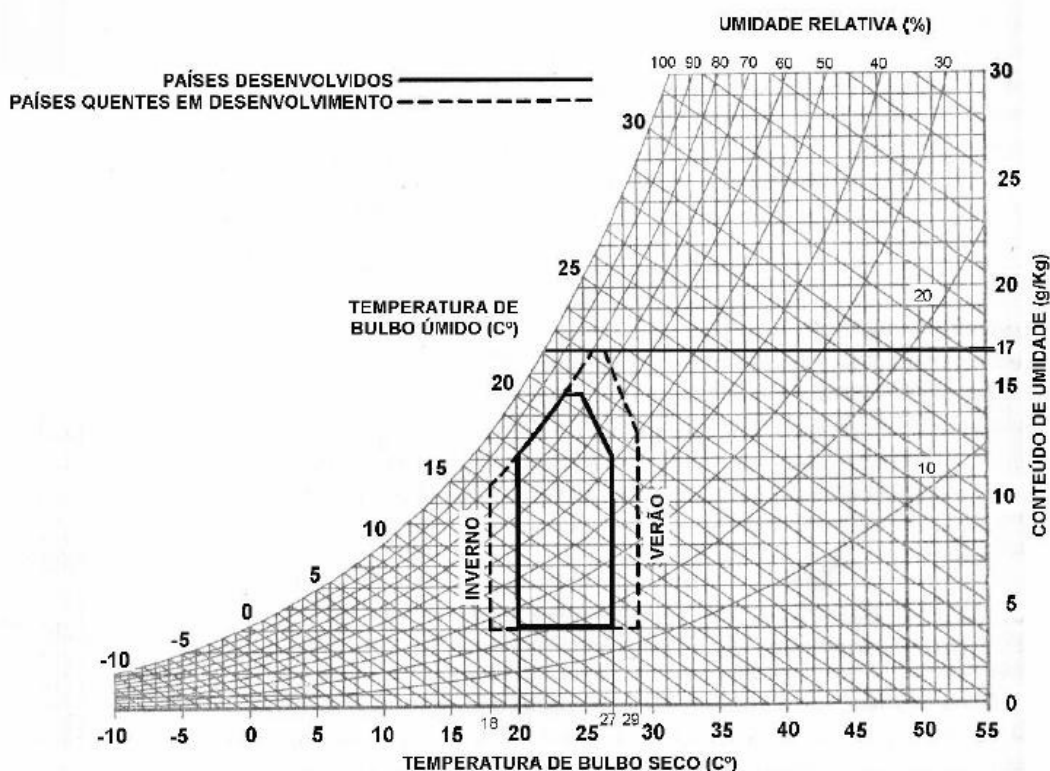


Figura 4: Carta Bioclimática de Givoni (1992)
Fonte: GIVONI, 1997.

Considerando novos estudos realizados em países quentes e apoiado no fato de que as pessoas que moram em países em desenvolvimento e de clima quente e úmido, aceitam condições de temperatura e umidade superiores, o autor sugere a expansão dos limites máximos de conforto para a aplicação nestes países.

Nessa carta bioclimática, portanto, estão demarcados diferentes limites para climas temperados (países desenvolvidos) e para climas quentes (países em desenvolvimento), sugerindo, também, limites das condições climáticas, dentro dos quais várias estratégias de projeto de edifícios e sistemas de resfriamento natural podem garantir conforto térmico interno.

Givoni explica também que o clima interno em edifícios não condicionados reage mais largamente à variação do clima externo e à experiência de uso dos habitantes. Pessoas que moram em edifícios sem condicionamento e naturalmente ventilados aceitam usualmente uma grande variação de temperatura e velocidade do ar como situação normal, demonstrando assim a sua aclimação (LAMBERTS, et al., 2004).

Os limites sugeridos por Givoni (1992) para países desenvolvidos são de 18°C a 25°C para o verão e de 20°C a 27°C para o inverno, sendo este limite superior de temperatura aplicável a baixos níveis de umidade, máximo de 10g/Kg. Em níveis altos de umidade o limite superior da temperatura diminui progressivamente, sendo o limite máximo em termos de umidade absoluta 15g/Kg. Nos países de clima quente e em desenvolvimento Givoni sugere elevar a temperatura limite máxima em 2°C, sendo, portanto os limites de verão entre 20°C e 29°C, o conteúdo de vapor também é levado em 2g/Kg.

Goulart et al (1994) elaboraram uma revisão bibliográfica abordando o tema bioclimatologia aplicada à arquitetura com o objetivo de selecionar uma metodologia bioclimática a ser adotada para o Brasil. Neste estudo foram analisadas as metodologias de vários autores. Com base nas análises concluiu-se que o trabalho de Givoni de 1992 para países em desenvolvimento é o mais adequado às condições brasileiras. Nesse estudo, assim como em Silva (1994), a área de conforto sugerida por Givoni (1992) para países em desenvolvimento foi confrontada com o PMV de Fanger e o resultado indicou que a zona bioclimática de Givoni aponta um PPD de 20%, coincidindo com a zona de conforto do trabalho original de Fanger.

Os estudos de Givoni foram utilizados para a elaboração da classificação climática do território brasileiro proposta na NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações: Parte 3. As recomendações construtivas de cada zona foram efetuadas a partir de adaptações feitas sobre a Carta Bioclimática de Givoni. (RORIZ, et al., 1999)

2.2.5. Graus-dia e Graus-hora

A demanda de energia necessária para aquecimento ou resfriamento de um ambiente, para que este se encontre dentro de níveis habitáveis de conforto, pode ser calculada através do parâmetro de graus-dia ou graus-hora.

Segundo Szokolay (1987 apud GOULART, 1993), graus-dia é um parâmetro climático de desempenho definido como o somatório das diferenças de temperatura, quando esta encontra-se abaixo de uma temperatura base (T_b). Ou seja, verifica-se a temperatura média diária ($T_{méd}$) durante todo o ano. Quando este valor for menor que T_b , calcula-se a diferença $T_b - T_{méd}$, somando-se estas diferenças, dia a dia,

para todo o ano. Pode-se calcular o somatório separadamente, para cada mês, obtendo-se os graus-dias mensais de aquecimento.

Para o cálculo do grau-dia de resfriamento utiliza-se o mesmo conceito, mas considera-se o somatório das diferenças de temperatura quando esta encontra-se acima de uma temperatura base (T_b).

Graus-hora é verificado de maneira similar ao grau-dia, porém analisando-se as temperaturas horárias ao invés de temperaturas médias diárias. Neste caso, deve-se verificar os valores de temperatura hora por hora, durante todo o ano. Pode também ser calculado para cada mês. Duas informações podem ser retiradas do conceito de somatório de graus-hora, o número de horas que estiveram acima ou abaixo da temperatura base estipulada e o grau-médio que é a razão do somatório de graus-hora pelo número de horas acima ou abaixo da temperatura base estipulada.

2.3. Arquitetura Bioclimática

O estudo sobre o conforto térmico e os limites extremos para o equilíbrio térmico do ser humano nos permite verificar a sensibilidade do nosso organismo diante de todas as variáveis que intervêm neste equilíbrio e a complexidade de todo o processo.

Este conhecimento demonstra a relevância do problema que o profissional arquiteto encontra e a necessidade de se utilizar todo o conhecimento e recursos técnicos para que o edifício projetado atenda às exigências de conforto térmico do usuário.

Prover conforto térmico ao usuário para que ele possa desempenhar plenamente suas atividades é uma condição inerente à boa arquitetura, independente do tipo de construção ou do local onde se situa.

O conhecimento do clima, aliado ao dos mecanismos de trocas de calor e do comportamento térmico dos materiais, permite uma intervenção consciente da arquitetura, incorporando os dados relativos ao meio ambiente externo de modo a aproveitar o que o clima apresenta de agradável e amenizar seus aspectos negativos (FROTA; SCHIFFER, 2003).

Os irmãos Olgyay aplicaram a bioclimatologia, ciência que estuda as relações entre o clima e o ser humano, na arquitetura e criaram a expressão projeto

bioclimático. “A arquitetura assim concebida busca utilizar, por meio de seus próprios elementos, as condições favoráveis do clima com o objetivo de satisfazer as exigências de conforto térmico do homem.” (LAMBERTS, et al., 2004)

Segundo Corbella (2003) o objetivo do projeto bioclimático é conceber um ambiente construído com conforto físico, sadio e agradável, adaptado ao clima local e que minimize o consumo de energia convencional.

Cunha (2006) afirma que não existe uma “arquitetura bioclimática” e sim arquitetura, simplesmente. Observa que devemos falar de um enfoque, de uma concepção bioclimática da arquitetura e que esta concepção considera como fundamentos básicos três grandes aspectos: o lugar, a história e a cultura.

Romero (2007) conceitua a arquitetura bioclimática como “uma lógica de desenho que reconhece a persistência do existente, culturalmente adequada ao lugar e aos materiais locais e que utiliza a própria concepção arquitetural como mediadora entre o homem e o meio.”

Na arquitetura bioclimática, portanto, é o próprio ambiente construído que deve atuar como mecanismo de controle das variáveis ambientais por meio de suas características construtivas e formais, do seu entorno e do aproveitamento dos elementos e fatores do clima para melhor controle do vento e do sol.

Na busca por métodos que auxiliem na concepção bioclimática da arquitetura, a adoção de estratégias influenciam significativamente o conforto térmico de seus ocupantes e, conseqüentemente, o desempenho térmico desta edificação e sua eficiência energética.

Victor Olgyay sugeriu um roteiro para a construção bioclimática em quatro etapas: (i) análise dos dados climáticos anuais da região; (ii) avaliação biológica baseada nas sensações humanas; (iii) soluções tecnológicas para reduzir os impactos do clima e utilizar recursos existentes; (iv) e aplicação arquitetônica das conclusões obtidas nas três primeiras fases e desenvolvimento equilibrado dos elementos conforme a necessidade. (Olgyay 1963 *apud*. DUMKE 2002)

Utilizando a carta bioclimática concebida por Givoni o arquiteto poderá ter indicações fundamentais sobre a estratégia bioclimática a ser adotada no projeto do edifício. Obtendo os valores de temperatura e umidade relativa do ar externo para os principais períodos do ano climático de determinada localidade, esses valores podem ser plotados diretamente sobre a carta, onde são identificadas nove zonas de atuação, são elas: zona de conforto, zona de ventilação, zona de resfriamento

evaporativo, zona de massa térmica para resfriamento, zona de ar-condicionado, zona de umidificação, zona de massa térmica para aquecimento, zona de aquecimento solar passivo e zona de aquecimento artificial. (LAMBERTS, et al., 2004).

Carl Mahoney, baseado em sua larga experiência no Departamento de Estudos Tropicais da Associação de Arquitetura de Londres, coordenou uma equipe de especialistas que formulou em 1971, um método simplificado de análise climática a partir da qual se estabelecem diretrizes de projeto. As “Planilhas de Mahoney” vem sendo utilizadas há quatro décadas em diversos países, pela sua facilidade de aplicação por parte dos arquitetos. Dispondo das normais climatológicas locais anotando-as em planilhas e comparando-as com limites de conforto indicados para cada tipo de clima, é possível identificar grupos de problemas climáticos dominantes e, para cada grupo, obter recomendações técnicas a serem consideradas no processo de projeto, desde a sua fase preliminar para a tomada de decisões. (RORIZ, et al., 1999)

As tabelas de Mahoney propõem uma análise em quatro etapas: (I) análise de dados climáticos mensais; (II) diagnóstico - comparação desses dados com zonas de conforto, que, neste método, variam para o dia e para a noite; (III) identificação dos indicadores mensais de condições climáticas; (IV) e definições das recomendações de projeto de acordo com a incidência dos indicadores.

As recomendações dizem respeito aos seguintes itens do projeto: implantação, espaçamento entre as edificações, ventilação, tamanho, posição e proteção das aberturas, paredes e pisos, coberturas e exterior da edificação (necessidade de proteção da chuva e espaço externo para dormir). (KOENIGSBERGER, et al., 1973).

Cabe ainda salientar, em virtude do enfoque deste estudo, que prover um edifício com características que proporcione um desempenho térmico adequado não implica o acréscimo obrigatório de custo à construção, ao contrário, deve resultar em redução nos custos de utilização e manutenção, além de propiciar condições ambientais internas agradáveis aos ocupantes (FROTA; SCHIFFER, 2003).

2.4. Normalização sobre desempenho térmico de edificações residenciais no Brasil

A necessidade de criação de uma normalização sobre desempenho térmico e energético de edificações para o Brasil foi inicialmente discutida no I Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído no ano de 1990. No ano seguinte realizou-se o I Encontro Nacional de Normalização Ligada ao Uso Racional de Energia e ao Conforto Ambiental em Edificações.

Em 1997 foi firmado um convênio com a FINEP para o desenvolvimento do Projeto Normalização em Conforto Ambiental sob coordenação geral do Professor Roberto Lamberts do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

No ano de 2005 finalmente, entrou em vigor a primeira norma brasileira que trata do assunto, a NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações. Esta norma estabelece o Zoneamento Bioclimático Brasileiro e faz recomendações de diretrizes construtivas para Habitações de Interesse Social.

Em 2008 foi publicada a NBR 15575 – Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos. O objetivo desta norma é definir os requisitos de desempenho que se aplicam ao edifício habitacional como um todo através de critérios de segurança, habitabilidade, higiene e saúde, durabilidade e adequação ambiental. Apresenta tópico específico para avaliação térmica de componentes e edificações.

Do ponto de vista socioeconômico, as regulamentações quanto ao desempenho térmico de edificações tem importância tanto ao nível do indivíduo como do coletivo. Ao nível do indivíduo, as regulamentações visam ao projeto e construção de edificações que propiciem condições satisfatórias de conforto aos ocupantes com baixos custos de execução e aquisição. Ao nível coletivo, as regulamentações visam: melhorar o emprego de recursos financeiros de órgãos de fomento à habitação no financiamento de edificações com bom desempenho térmico; minimizar os gastos de energia com o uso de equipamentos de condicionamento de ar; reduzir o custo para a construção e manutenção de instalações de transformação de energia e o seu respectivo impacto ambiental no local de sua instalação; e incentivar o uso de fontes de energia renováveis (AKUTSU; VITTORINO, 1997).

2.4.1. NBR 15220 (2005) – Desempenho térmico de habitações

A norma de Desempenho térmico de edificações é constituída de cinco partes:

- Parte 1: Definições, símbolos e unidades;
- Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;
- Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
- Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;
- Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

A metodologia adotada estabelece um zoneamento bioclimático para o Brasil, que propõe a divisão do território brasileiro em oito zonas, adaptando a Carta Bioclimática sugerida por Givoni (1992).

Para cada uma das zonas bioclimáticas são apresentadas diretrizes construtivas e estabelecidas estratégias de condicionamento térmico passivo. São estabelecidas diretrizes construtivas em relação ao tamanho das aberturas para ventilação, proteção das aberturas, vedações externas (tipo de parede externa e tipo de cobertura) e estratégias de condicionamento térmico passivo.

O anexo A da parte 3 apresenta uma tabela com 330 cidades cujos climas foram classificados, indica a Zona Bioclimática na qual a cidade está inserida e as estratégias bioclimáticas recomendadas.

Em relação aos elementos construtivos das vedações externas (paredes e cobertura) a norma estabelece valores admissíveis para as seguintes características termofísicas: transmitância térmica (U), atraso térmico (ϕ) e fator solar (FS).

Ainda na parte 3 o anexo D apresenta os valores de transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas paredes e coberturas e recomenda que para o cálculo das características termofísicas de paredes e coberturas que não constam no anexo D devem ser utilizados os procedimentos estabelecidos na parte 2 da norma.

Segundo o zoneamento bioclimático brasileiro apresentado pelo NBR 15220, a cidade de Pelotas/RS está inserida na Zona Bioclimática 2. Na tabela 1 são apresentadas as recomendações estabelecidas pela norma para esta zona bioclimática.

Tabela 1 – Recomendações para a zona bioclimática 2 segundo NBR 15220 (2005).

Zona bioclimática 2		
Aberturas	Aberturas para ventilação médias	15% < A < 25% A (em % da área do piso)
	Sombreamento	Permitir sol durante o inverno
Paredes externas leves	Transmitância térmica – U W/C m ²	≤ 3,0
	Atraso térmico ϕ (h)	≤ 4,3
	Fator solar FS (%)	≤ 5,0
Cobertura leve isolada	Transmitância térmica – U W/C m ²	≤ 2,0
	Atraso térmico ϕ (h)	≤ 3,3
	Fator solar FS (%)	≤ 6,5
Estratégias de condicionamento térmico passivo	Verão	Ventilação cruzada
	Inverno A norma faz uma ressalva de que o condicionamento passivo será insuficiente durante o período mais frio.	Aquecimento solar
		Vedações internas pesadas

2.4.2. NBR 15575 (2008) – Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos

A norma de desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos define requisitos e critérios de desempenho que se apliquem ao edifício habitacional como um todo. São estabelecidos critérios de segurança, habitabilidade, higiene e saúde, durabilidade e adequação ambiental.

Em função das necessidades básicas de segurança, saúde, higiene e economia, são estabelecidos, para os diferentes elementos e partes da edificação, níveis mínimos de desempenho, que devem ser atendidos. Para edifícios que apresentem desempenho superior às necessidades mínimas são estabelecidos os níveis intermediário e superior.

A norma é constituída pelas seguintes partes:

- Parte 1: Requisitos gerais;

- Parte 2: Estrutura;
- Parte 3: Pisos internos;
- Parte 4: Fachadas e paredes internas;
- Parte 5: Coberturas;
- Parte 6: Sistemas hidrossanitários.

Em relação ao desempenho térmico a NBR 15575 estabelece que a edificação deva atender as exigências de conforto térmico considerando o zoneamento bioclimático definido na NBR 15220 – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social.

A norma estabelece três procedimentos para avaliação da adequação das edificações nas oito diferentes Zonas Bioclimáticas:

- Procedimento 1 – Simplificado: verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos para coberturas e fachadas, nas partes 4 e 5.
- Procedimento 2 – Simulação: verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos pela norma por meio da simulação computacional.
- Procedimento 3 – Medição: verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos pela norma por meio da realização de medições em edificações ou protótipos em escala real.

Esta norma permite avaliar o desempenho térmico do edifício por um dos três procedimentos e, considerando-se que o desempenho térmico do edifício depende do comportamento interativo da fachada, cobertura e piso, uma edificação que não atender aos requisitos quando avaliada pelo procedimento 1, pode ser avaliada por um dos outros procedimentos.

Sobre as condições de conforto no verão, a norma estabelece que no dia típico de verão, as condições térmicas no interior da edificação devem ser melhores ou iguais às do ambiente externo, à sombra. Estabelece ainda que, o valor máximo diário da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, como salas e dormitórios deve obedecer a valores limites, de acordo com a Zona Bioclimática a que pertence.

Sobre as condições de conforto no inverno, a norma estabelece que o valor mínimo diário da temperatura do ar interior de permanência prolongada, como salas

e dormitórios, no dia típico de inverno, deve obedecer a limites mínimos, de acordo com a Zona Bioclimática a que pertence.

Como método de avaliação para as condições de conforto no verão e no inverno a norma recomenda tanto o procedimento 2 – simulação computacional, como o procedimento 3 – medições *in loco*, conforme as recomendações apresentadas nos Anexos A e B da Parte 1.

O anexo A apresenta as recomendações para avaliação do desempenho térmico de edificações por meio de simulação computacional. Estabelece que a avaliação de edifícios existentes deve ser feita para dias típicos de verão e de inverno. Deve-se utilizar os dados climáticos da cidade onde está localizada a edificação, ou da cidade mais próxima, que esteja dentro da mesma região bioclimática, com altitude de mesma ordem de grandeza, caso a cidade não conste na listagem da norma. Para edifícios multipiso deve-se selecionar uma unidade do último andar, com cobertura exposta, considerar todas as variáveis de projeto da unidade habitacional na condição que se encontram no momento da avaliação, como orientação solar e cor das vedações externas. Todos os ambientes devem ser simulados, mas apenas os resultados da sala e dormitórios avaliados. As propriedades térmicas dos materiais devem ser obtidas por meio dos métodos das normas técnicas recomendadas. Não são apontados possíveis programas computacionais a serem utilizados nas simulações, o que pode levar a adoção de programas não adequados para este fim.

O anexo B apresenta as recomendações para avaliação do desempenho térmico de edifícios por meio de medições. Estabelece que deve-se medir a temperatura de bulbo seco do ar no centro dos dormitórios e salas, a 1,20m do piso. Para a medição devem ser seguidas todas as especificações de equipamentos e montagem dos sensores apresentadas na norma ISO 7726. Para edifícios multipiso deve-se selecionar unidades do último andar que possibilitem a avaliação nas seguintes condições:

- Verão: janela do dormitório ou sala voltada para oeste e outra parede exposta voltada para norte, nas regiões climáticas 1, 2 e 3.
- Inverno: janela do dormitório ou sala voltada para sul e outra parede exposta voltada para leste, nas regiões climáticas 1 e 2.

Caso a orientações das janelas dos ambientes não correspondam exatamente estas recomendações, a norma recomenda priorizar as unidades que

tenham o maior número de paredes expostas e cujas orientações das janelas sejam mais próximas da orientação especificada.

Por último o anexo B da norma traz recomendações sobre o período de medição, estabelece que o dia tomado para análise deva corresponder a um dia típico de verão ou de inverno, precedido por pelo menos um dia com características semelhantes. Recomenda ainda trabalhar com uma sequência de três dias e analisar os dados do terceiro dia. Para efeito da avaliação por medição, o dia típico é caracterizado unicamente pelos valores da temperatura do ar exterior.

Como critérios e níveis de avaliação de desempenho térmico através de medições para a zona bioclimática 2, a norma estabelece as condições apresentadas na tabela 2.

Tabela 2 – Critérios para avaliação de desempenho térmico pelo método de medição na Zona Bioclimática 2 segundo NBR 15575.

Nível de desempenho	Limites de temperatura do ar no verão
Mínimo	valor máximo diário da temperatura do ar interior $\leq$ valor máximo diário da temperatura do ar exterior.
Intermediário	valor máximo diário da temperatura do ar interior $\leq 29^{\circ}\text{C}$.
Superior	valor máximo diário da temperatura do ar interior $\leq 27^{\circ}\text{C}$.
Nível de desempenho	Limites de temperatura do ar no inverno
Mínimo	valor mínimo diário da temperatura do ar interior $\geq 12^{\circ}\text{C}$.
Intermediário	valor mínimo diário da temperatura do ar interior $\geq 15^{\circ}\text{C}$.
Superior	valor mínimo diário da temperatura do ar interior $\geq 17^{\circ}\text{C}$.

A Parte 4: Fachadas e paredes internas – apresenta os critérios mínimos de desempenho térmico de fachadas, estabelecidos para avaliar o desempenho térmico do edifício de acordo com o procedimento 1 (simplificado).

Estes critérios referem-se às propriedades térmicas das paredes externas e estabelece valores admissíveis para transmitância térmica (U) e capacidade térmica, de acordo com a Zona bioclimática em que a edificação está inserida. A norma faz ainda recomendações sobre as aberturas, estabelecendo áreas mínimas de ventilação e sombreamento das janelas. A tabela 3 apresenta os critérios estabelecidos pela NBR 15575 para a Zona Bioclimática 2.

Tabela 3 – Recomendações para desempenho térmico mínimo de fachadas e paredes internas na zona bioclimática 2 segundo NBR 15575.

Parte 4: Fachadas e paredes internas		
Zona bioclimática 2 – Nível de desempenho Mínimo		
Requisito	Critérios	
Adequação paredes externas	Transmitância térmica – U W/C m ²	≤ 2,5
	Capacidade térmica KJ/(m ² .K)	≥130
Ventilação dos ambientes internos à habitação	Áreas mínimas de aberturas para ventilação (A, em % da área do piso)	Aberturas médias A ≥ 8
Sombreamento das aberturas localizadas em paredes externas	Sombreamento dos vãos das janelas de dormitórios	Uso de dispositivos de sombreamento que permitam o controle de sombreamento e escurecimento a critério do usuário

A Parte 5: Coberturas – apresenta os critérios de desempenho térmico de coberturas com base no procedimento 1 (simplificado).

Estes critérios referem-se às propriedades térmicas da cobertura e estabelece valores admissíveis para transmitância térmica (U) e absorvância dos materiais, de acordo com a Zona Bioclimática em que a edificação está inserida. A norma faz também observações sobre isolamento térmico, sombreamento e fator de ventilação do ático.

Tabela 4 – Recomendações para desempenho térmico mínimo de coberturas na zona bioclimática 2, segundo NBR 15575.

Parte 5: Coberturas		
Zona bioclimática 2 – Nível de desempenho Mínimo		
Requisito	Critérios	
Isolação térmica da cobertura	Transmitância térmica – U W/C m ²	≤ 2,3
	Absorvância térmica	Sem exigência

2.4.3. Considerações sobre as Normas

O procedimento 1 da NBR 15575, que baseia-se na verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos é recomendado para verificação do desempenho térmico na Parte 4 – fachadas e paredes internas e na Parte 5 – coberturas.

É possível observar que existem diferenças entre as propriedades térmicas apresentadas pelas duas Normas. A NBR 15575 insere algumas propriedades térmicas não mencionadas de forma explícita pela NBR 15220 como capacidade térmica de paredes e limites de valores para o coeficiente de absorção de paredes e coberturas. Além dessa diferença entre as propriedades térmicas mencionadas, há discrepâncias nos próprios parâmetros adotados (CURCIO; SILVA, 2009).

Estas diferenças estão apontadas na tabela 5, que apresenta as recomendações para a Zona Bioclimática 2, à qual pertence Pelotas. Grigoletti (2007), constata estas diferenças para os mesmos requisitos para a Zona Bioclimática 3.

Tabela 5 - Critérios para avaliação de desempenho térmico segundo NBR 15220 e NBR 15575 para a Zona Bioclimática 2 (adaptada do modelo apresentado por GRIGOLETTI (2007), para a Zona Bioclimática 3)

Recomendações	Paredes		Cobertura	
	NBR 15220	NBR 15575	NBR 15220	NBR 15575
Transmitância térmica – U W/°C m²	≤ 3,0	≤ 2,5	≤ 2,0	M ≤ 2,30
				I ≤ 1,50
				S ≤ 1,00
Coeficiente de absorção α	não especifica	não especifica para esta zona	não especifica	não especifica para esta zona
Capacidade térmica KJ/(m².K)	não especifica de forma explícita (ver atraso térmico)	≥130	não especifica de forma explícita (ver atraso térmico)	não especifica
Aberturas para ventilação médias (em % da área do piso)	15% < A < 25%	A ≥ 8	—	—
Fator solar FS=4.α.U (%)	≤ 5,0	não especifica	≤6,5	
Atraso térmico ϕ (h)	≤ 4,3	não especifica	≤ 3,3	não especifica

Para avaliação das condições de conforto no verão e no inverno a NBR 15575 recomenda tanto o procedimento 2 – simulação computacional, como o procedimento 3 – medições *in loco*.

Neste estudo será utilizado o procedimento 3 – medições *in loco*, pois o procedimento de simulação estabelece que as avaliações devam ser feitas para dias típicos de verão e inverno. Em relação a estes dados a norma apresenta informações para apenas 26 cidades brasileiras. No caso de a cidade não constar

na lista, deve-se utilizar os dados de outra cidade de mesma zona bioclimática. No entanto, nesta lista não há qualquer cidade pertencente a ZB2

Para obtenção destes dias típicos são necessários vários dados, velocidade dos ventos dominantes, dados horários de temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar e radiação solar incidente em superfície horizontal (AKUTSU, et al., 2005). Mesmo o procedimento de medição também levar em consideração os dias típicos de verão e inverno, com a realização das medições *in loco* temos condições de coletar dados horários de temperatura e umidade do ar e selecionar, através de metodologia apropriada, dias que se enquadrem como típicos de verão e inverno, sempre levando em consideração possíveis limitações por falta de informações em relação à ventos e radiação solar.

Cabe ainda ressaltar que a norma não estabelece para qual significância deve ser definido o dia típico (1%, 5%, 10%). Neste estudo optou-se por utilizar 5% e 95%, respectivamente para o inverno e verão, porque nestas datas todos os apartamentos foram monitorados. Isso significa que para o inverno, apenas 5% dos dias poderiam ser mais frios que o dia escolhido. No caso do verão, significa que 95% dos dias são menos quentes do que o escolhido, conseqüentemente apenas 5% serão mais quentes.

Avaliar o desempenho térmico de uma edificação é algo bastante complexo e por este motivo bastante discutido e questionado, tanto para avaliações por meio de medições (monitoramento) quanto por meio de simulações computacionais. No primeiro caso se discute se a edificação deve ou não estar ocupada. Se estiver desocupada, geralmente é mantida constantemente fechada e algumas vezes até vedada, o que foge do uso habitual da mesma. Se estiver ocupada representa o uso real, porém este dependerá essencialmente do usuário e de sua “sensibilidade” ou “habilidade” para perceber e acionar os mecanismos (dispositivos de ventilação, sombreamento, etc) que podem em alguns projetos ser bastante complexos (MARTINS et al., 2009).

Sabe-se que o usuário influenciará no desempenho da edificação, mas este estudo representa um uso real, no qual o usuário busca obter as melhores condições possíveis de conforto, frente ao seu conhecimento empírico e os dispositivos e estratégias oferecidas pelos projetos.

2.5. Pesquisas realizadas no Brasil sobre desempenho térmico

2.5.1. Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo – IPT

A definição de uma metodologia para avaliar o desempenho térmico de edificações tem sido uma preocupação da Divisão de Edificações do IPT de São Paulo. Barbosa (1997) aponta uma seqüência de trabalhos: *Conforto: Avaliação de Desempenho de Habitações Térreas Unifamiliares*, IPT (1981 apud BARBOSA, 1997); *Desempenho Térmico de Edificações Escolares: Manual de Procedimento para Avaliação*, AKUTSU et al (1987); *Proposta de Procedimentos para Avaliação do Desempenho Térmico de Edificações Condicionadas e não Condicionadas*, AKUTSU e VITTORINO (1991a); *CrITÉrios para a Definição de Níveis de Desempenho Térmico de Edificações* AKUTSU e VITTORINO (1993); *Método Expedito para Avaliação do Desempenho Térmico de Habitações*, AKUTSU ET al (1995b); e *CrITÉrios Mínimos de Desempenho de Habitações Térreas Unifamiliares*, AKUTSU et al (1995c), que expressam a evolução das pesquisas realizadas pelo instituto nessa área e apresenta um resumo da seqüência de trabalhos conforme a seguir:

- a) *Conforto: Avaliação de Desempenho de Habitações Térreas Unifamiliares*, IPT (1981): esse estudo é uma proposta de normalização para avaliar o desempenho térmico de edificações térreas unifamiliares, em todo o território brasileiro. A proposta inclui um zoneamento climático com nove zonas de inverno e 11 zonas de verão. A avaliação é feita analisando-se os valores de transmitância (U) ou resistência (R) e comparando-os com seus valores limites, estabelecidos na proposta de Conforto Higrotérmico. Para as janelas, é analisada cada orientação, as dimensões e o sombreamento no projeto e definido um quadro de atendimento de conformidade para janelas por zona climática. Identifica-se na proposta uma preocupação com relação à questão da proteção da janela, para não prejudicar a ventilação e a luminosidade no interior. No caso da ventilação, recomenda-se uma renovação de ar de 18 m³/hora por pessoa, para todas as zonas, generalizadamente. A avaliação nesta metodologia é feita somente por prescrição isto é, o método prescreve os limites dos parâmetros térmicos.

- b) *Desempenho Térmico de Edificações Escolares: Manual de Procedimento para Avaliação*, AKUTSU et al (1987): neste trabalho, é sugerido a utilização das exigências básicas e as recomendações complementares da norma ANSI/ASHRAE 55 - 81, que adota como aceitável uma porcentagem de 80% de pessoas satisfeitas com as condições do ambiente térmico (calculado pela equação de Fanger). É proposto também, que a avaliação seja feita por simulação ou através de medições no local. Os procedimentos para medição no local são baseados nas recomendações da ANSI/ASHRAE 55 – 81. Para simulação é sugerido o uso de *softwares* e menciona-se o Programa NBSLD. Na caracterização das condições climáticas, é apresentada uma metodologia de coleta e tratamento dos dados, necessários para determinação de dias típicos de inverno e de verão. Esses dados servem também como entrada para os cálculos por simulação no NBSLD.
- c) *Proposta de Procedimentos para Avaliação do Desempenho Térmico de Edificações Condicionadas e não Condicionadas*, AKUTSU e VITTORINO (1991a): este estudo apresenta procedimentos que conduzem à avaliação de desempenho térmico de edificações e à escolha do sistema de ar condicionado energeticamente mais eficiente. O nível de exigência, no processo de avaliação, é caracterizado pelo nível de conforto térmico exigido, e depende das características climáticas do local. As etapas para o procedimento proposto são as seguintes: (1) Caracterização das exigências humanas de conforto; (2) Caracterização das condições típicas de exposição ao clima; (3) Caracterização da edificação e sua ocupação; (4) Caracterização do desempenho térmico da edificação; e (5) Avaliação do desempenho térmico da edificação. Como exigências básicas, o procedimento considera, para aceitabilidade térmica do ambiente, condições em que pelo menos 80% dos ocupantes devem expressar satisfação com o ambiente térmico. Como recomendações complementares são definidos parâmetros para umidade relativa do ar, temperatura do piso, velocidade média do ar e temperatura radiante. No que diz respeito às condições de clima local, são adotados os dias típicos de projeto (AKUTSU et al, 1991b). A caracterização da edificação é feita através da listagem das condições de ocupação, características térmicas e forma dos materiais e componentes e,

forma, dimensões e orientação dos elementos da edificação. A determinação da resposta térmica da edificação é feita através de cálculos que fornecem temperaturas e fluxos de calor do ambiente e/ou cargas térmicas de condicionamento.

d) *Crítérios para a Definição de Níveis de Desempenho Térmico de Edificações*

AKUTSU e VITTORINO (1993); esse estudo apresenta critérios para a definição de níveis de desempenho, dentro do processo de avaliação do desempenho térmico de edificações, ilustrando a aplicação desses critérios com exemplos de avaliação. No processo de avaliação apresentado no trabalho, os procedimentos empregados foram inicialmente propostos em AKUTSU et al (1987) e, a partir de então, vêm sendo continuamente reavaliados por meio de sua aplicação nos trabalhos de rotina do IPT. Dessa experiência resultou uma proposta de critério para a definição de níveis de desempenho, sendo indicados três níveis: A, B, e C, em substituição aos procedimentos de avaliação que continham apenas uma referência, onde o desempenho seria ou não satisfatório. Esses critérios para a classificação do desempenho térmico de edificações foram formulados em função do comportamento da edificação nos períodos de inverno e verão, seguindo exigências da Norma ISSO 7730. Como parâmetros de conforto térmico são fixados, entre outros, temperatura máxima para conforto no verão igual a 28°C para uma velocidade do ar menor que 0,25 m/s e 29°C para uma velocidade do ar maior que 0,50 m/s; temperatura mínima para conforto de inverno igual a 17°C, para vestimenta de 0,8 clo e velocidade de ventos menor que 0,25 m/s.

e) *Método Expedito para Avaliação do Desempenho Térmico de Habitações*,

AKUTSU ET al (1995b); este trabalho apresenta um método rápido, resultado das experiências acumuladas na questão de avaliação de desempenho térmico de edificações. O método é viável a usuários leigos, não sendo necessário o uso de cálculos por computador. É específico para habitações térrea de interesse social padrão COHAB. A aplicação do método consiste em consultar as tabelas denominadas quadros sínteses, onde estão indicados os níveis de desempenho A, B ou C. Como dados de entrada, o

usuário deve selecionar, a partir da especificação do método, um dos 30 tipos de paredes, um dos 8 tipos de coberturas e uma das 8 regiões climáticas que abrangem todo o território nacional. O método considera as partes externas das paredes com absorvidade à radiação solar igual a 0,5, as janelas sem dispositivos de sombreamento e os ambientes com troca de massa de ar só por infiltração. A verificação pode ser feita para inverno ou para verão. A consulta aos quadros sínteses, por região climática e por estação (verão ou inverno), permite identificar o sistema construtivo mais adequado àquela região e a compatibilidade do sistema construtivo para o desempenho de verão e de inverno. Esse método foi desenvolvido com recursos da FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), com objetivo de fornecer subsídios aos órgãos de financiamento de construção popular, para que estes possam verificar a viabilidade dos projetos e se atendem ou não aos mínimos estabelecidos.

- f) *Crêterios Mínimos de Desempenho de Habitações Térreas Unifamiliares*, AKUTSU et al (1995c): Este trabalho é o mesmo anterior, apresentado em caderno especial como relatório técnico para a FINEP. Observa-se que houve uma modificação na definição dos níveis de classificação para verão e inverno publicado em 1993. A diferença é que foi acrescentado um limite máximo para a temperatura interna (29 C), para o nível A no verão. Para o inverno houve modificações nos três níveis A, B e C; a diferença no nível A foi o acréscimo de um limite mínimo para a temperatura interna (17 C); o nível B é atribuído   edificação que não atende às exigências do nível A e se o valor mínimo da temperatura do ar no interior for maior ou igual ao valor da temperatura mínima de referência (12 C). A edificação é classificada no nível C quando o valor mínimo da temperatura do ar interior for menor que 12 C. Deve-se ressaltar que o método especifica como inaceitável a edificação que for classificada como nível C.

2.5.2. Metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações unifamiliares.

Esta pesquisa realizada por Barbosa (1997) propõe uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico em edificações térreas residenciais unifamiliares. O estudo foi realizado na cidade de Londrina/PR, mas a metodologia proposta pode ser aplicada a outras cidades. A estrutura básica para a montagem da metodologia foi confirmar as condições de conforto térmico da população local, ajustar uma ferramenta de simulação frente aos diferentes sistemas construtivos, e estabelecer o limite de horas anuais de desconforto com base em um sistema construtivo referencial.

Os limites de conforto baseiam-se na zona de conforto de Givoni (1992) para países de clima quente e em desenvolvimento, que recomenda temperaturas variando entre 18°C e 29°C. Como critério de avaliação foi considerado a quantidade de horas por ano em que as temperaturas internas apresentam-se fora dos limites da zona de conforto.

Em pesquisa realizada junto às Companhias de Habitação Popular foi definida a tipologia construtiva representativa que foi utilizada como o sistema construtivo referencial para a determinação dos limites mínimos aceitáveis para o desempenho térmico das edificações residenciais unifamiliares. A metodologia foi aplicada em cinco sistemas construtivos diferentes. Em cada sistema construtivo foram medidas as temperaturas internas no verão e no inverno, levantados os dados construtivos e as sensações dos usuários.

Foram realizadas simulações com as cinco casas estudadas e a partir destes resultados obteve-se o número de horas de desconforto anuais para cada sistema.

Barbosa (1997) estabelece como limite aceitável de desempenho térmico, um total máximo de 1000 horas de desconforto, o que corresponde a pouco mais de 10% de horas anuais.

Como resultado do trabalho é proposto uma metodologia para avaliar o desempenho térmico de edificações unifamiliares que pode ser feita por prescrição, verificando-se o cumprimento dos limites estabelecidos para as características térmicas de transmitância e absortância, dos elementos construtivos, a área efetiva de aberturas para ventilação e o seu sombreamento, ou por desempenho, realizada

através da simulação computacional, comparando-se se o número as horas de desconforto anual está dentro do limite estabelecido.

2.5.3. Avaliação do comportamento térmico do protótipo habitacional Alvorada

O trabalho realizado por Morello (2005) faz uma verificação do comportamento térmico de um protótipo de habitação térrea unifamiliar construído no Campus da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), na cidade de Porto Alegre, tal edificação é denominada protótipo Alvorada.

Foram realizadas medições em intervalos horários, no interior do protótipo, durante o período de um ano, nos quais foram registrados os valores de temperatura do ar e umidade relativa. Os dados externos foram obtidos pela estação meteorológica do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS.

Para a análise do comportamento térmico do protótipo, Morello (2005) separa os dados em quatro períodos distintos de acordo com as estações do ano: inverno (23 de junho a 22 de setembro de 2003), primavera (23 de setembro a 21 de dezembro de 2003), verão (22 de dezembro de 2003 a 22 de março de 2004) e outono (12 de maio de 2003 a 22 de junho de 2003 e de 23 de março de 2004 a 12 de maio de 2004).

As análises apresentadas se baseiam em comparações entre os dados medidos no interior e no exterior do protótipo.

Os limites de conforto térmico e os critérios de avaliação utilizados foram: diagrama bioclimático para edificações de Givoni (1992), para países em desenvolvimento e de clima quente, número de horas de desconforto, proposto por Barbosa (1997), grau-hora e grau-médio. Foram também realizadas análises dos aspectos de retardo e amortecimento térmico, a partir da comparação da temperatura do ar interno e externo durante as semanas que apresentaram a menor média das temperaturas mínimas diárias, a maior média das temperaturas máximas diárias e os dias com as maiores amplitudes térmicas.

Como considerações sobre o trabalho realizado, em relação ao método e critérios de avaliação utilizados, Morello (2005, p.164) afirma:

- a) a zona de conforto de Givoni (1992), para países em desenvolvimento, por usar uma carta psicrométrica como base, é de fácil compreensão e

- permite a visualização clara das estratégias bi climáticas, para os valores que não se encontram no intervalo de conforto;
- b) o método das horas anuais de conforto, sugerido por Barbosa(1997), pode ser uma possibilidade válida para a avaliação do comportamento térmico de edificações, [...]
 - c) o critério dos graus-hora é de simples aplicação e constitui um recurso representativo do abrandamento das condições externas proporcionado pela edificação. [...]

2.5.4. Avaliação do desempenho térmico de habitações sociais de Passo Fundo

Este trabalho, realizado por Menezes (2006), avalia o desempenho térmico de habitações de interesse social na cidade de Passo Fundo/RS, visando verificar a aplicabilidade dos procedimentos das normas NBR 15220 (2005) e NBR 15575 (2008) naquela ocasião ainda projeto de norma 02:136:01(ABNT, 2004).

Foram realizadas medições de temperatura e umidade relativa no interior e exterior de cinco habitações já ocupadas e consideradas representativas do Programa de Subsídio à Habitação de Interesse Social (PSH). Estas medições ocorreram em dois períodos, no inverno de 2005 e no verão de 2006. A coleta de dados foi realizada por 48 horas em cada uma das habitações estudadas com registros a cada trinta minutos.

Foram identificadas as tipologias construtivas das habitações, caracterizando os tipos de parede, piso, cobertura, divisórias, aberturas e orientação. Com estas informações foram realizadas as avaliações descritivas, através do método definido pela NBR 15220, com o cálculo de transmitância térmica de paredes e coberturas, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar.

Menezes (2006) realizou também simulações no *software Energyplus*. O arquivo climático utilizado no formato TMY2, montado por Larry Degelman (pesquisador americano) que utilizou os dados das Normais Climatológicas de Passo Fundo, tendo como base o ano de 2003. As cinco residências foram simuladas, considerando-se cada uma como uma única zona térmica.

Os valores obtidos nas simulações foram comparados entre as cinco habitações, assim como os dados das medições. Por fim, foram confrontados os dados das simulações com as medições e com os parâmetros calculados.

Como conclusão Menezes (2006) aponta que os resultados das inter-relações entre as características construtivas das unidades habitacionais, os parâmetros climáticos do município e a temperatura no interior dos ambientes demonstram que as habitações estudadas atendem em parte as exigências das normas quanto ao desempenho térmico, mas que alguns parâmetros estão aquém do estabelecido, exigindo recomendações em termos de tipologia, orientação solar, tecnologias construtivas e materiais. Ele aponta ainda a existência de diferenças entre os parâmetros recomendados pelas NBR 15220 e NBR 15575.

Foi verificado também que o período de desconforto térmico é maior em condições de frio do que de calor, sendo assim, as medidas que visem a melhoria das condições de conforto térmico das edificações devem considerar este fator.

Por fim, o autor considera que o diagnóstico apresentado pode servir de subsídio para outros estudos visando a melhoria do desempenho térmico das habitações de interesse social dos futuros programas a serem implementados, tanto na cidade de Passo Fundo, como em outros municípios da região.

2.5.5. Método de avaliação de desempenho higrotérmico de habitações de interesse social

A pesquisa realizada por Grigoletti (2007) propõe um conjunto de procedimentos, baseados em modelos físicos simplificados, para avaliação de desempenho higrotérmico de habitações de interesse social para as condições climáticas de Porto Alegre/RS, que considera o comportamento global da edificação através de requisitos e critérios que complementam aqueles propostos pelas normas vigentes e que sejam de fácil aplicação pelos envolvidos no processo de produção de habitações de interesse social.

Foram selecionados quatro projetos, são eles: protótipo Aglotec, protótipo Alvorada, projeto-referência 1 e projeto referência 2, que foram avaliados com o método e serviram como referência para a definição dos requisitos e critérios assumidos no método.

Para validação do método proposto foram consultados agentes envolvidos no financiamento, projeto, construção e fiscalização de habitações de interesse social em Porto Alegre e também especialistas da área de conforto ambiental

térmico de edificações a fim de averiguar a adequação dos requisitos e critérios propostos.

A proposta final indica três níveis de desempenho higrotérmico (A, B ou C) que podem ser atingidos pelas soluções de projeto e técnicas construtivas utilizadas, segundo uma pontuação sugerida na aplicação do método.

Essa pontuação é definida a partir dos parâmetros técnicos propostos que avaliam as características da edificação, cobertura, paredes e fechamentos opacos.

Os parâmetros propostos para a edificação são o coeficiente volumétrico global de perda de calor, coeficiente volumétrico global de ganho de calor, coeficiente de superfície pesada equivalente e captação de radiação solar para aquecimento. Para a cobertura são avaliadas as características térmicas de transmitância térmica, inércia térmica e fator de calor solar. Já para as paredes são avaliadas as características térmicas de inércia térmica e fator de calor solar e também a redução de ganhos térmicos no verão com o sombreamento de paredes oeste a noroeste. Os fechamentos transparentes são analisados a partir de sua área para ventilação, possibilidade de ventilação cruzada, orientação das aberturas, presença de dispositivos opacos que permitam ventilação e presença de dispositivos externos móveis para controle de sombreamento.

Como considerações finais a autora aponta a dificuldade em definir padrões aceitáveis de desempenho térmico no Brasil visto que, um dos condicionantes fundamentais dos projetos para habitações de interesse social é o custo. Outra dificuldade citada é o contexto climático da região sul do Rio Grande do Sul que apresenta variações significativas de temperatura e umidade do ar num mesmo dia e ao longo do ano, tornando as soluções arquitetônicas que satisfaçam as exigências de conforto complexas. Grigoletti (2007) aponta ainda que não apenas as populações que vivem em condições mais precárias necessitam serem atendidas, classes sociais mais favorecidas também carecem de soluções mais adequadas para suas habitações. Por fim, a autora coloca como fundamental o papel dos profissionais de diferentes setores, públicos ou privados, que devem ter consciência da sua função social e assumir suas responsabilidades no conhecimento e aplicação de diretrizes e recomendações que garantam que as habitações atinjam um desempenho mínimo aceitável e afirma que o compromisso destes profissionais é buscar soluções cada vez melhores e que possam atingir toda a população.

2.5.6. Desempenho térmico de edificações multifamiliares de interesse social em conjuntos habitacionais na cidade de Santa Maria/RS

Rotta (2009) avalia o desempenho térmico de edificações construídas por diferentes políticas habitacionais em conjuntos habitacionais multifamiliares na cidade de Santa Maria/RS.

Como primeira etapa a autora realiza o levantamento e análise das características construtivas e tipológicas de edifícios de quatro e cinco pavimentos pertencentes a conjuntos habitacionais. Os dados para a realização desta fase da pesquisa foram obtidos através de visitas *in loco* e consultas aos projetos arquitetônicos e memoriais descritivos.

Após este levantamento foram definidos os edifícios que seriam avaliados, como critérios para esta escolha foram analisados a capacidade térmica das paredes e cobertura e a possibilidade de ventilação natural nas unidades habitacionais. Nos edifícios escolhidos foram realizadas medições de temperatura do ar interno e externo, em dois períodos do ano, no inverno (9 de agosto a 22 de agosto de 2007) e no verão (13 de fevereiro a 22 de fevereiro de 2007). Os equipamentos foram programados para coletar os dados a cada 5 minutos.

Em cada um dos conjuntos habitacionais foram realizadas medições em diferentes unidades, com o intuito de realizar comparações entre diferentes orientações e altura do pavimento (térreo e cobertura). As análises foram baseadas na variação de temperatura do ar interna e externa, na amplitude térmica e no amortecimento térmico proporcionado pelo edifício.

Como conclusões Rotta (2009) afirma que com a identificação das diferenças entre as práticas construtivas dos antigos edifícios construídos pelo BNH e os mais recentes construídos pelo PAR, foi possível identificar como problema a baixa capacidade térmica dos sistemas construtivos adotados pelo PAR. Outro fator que a autora aponta como preocupante é a falta de isolamento nas coberturas destes edifícios. Outra constatação apontada é que o efeito exercido pela cobertura nos últimos pavimentos teve maior influencia que a orientação solar nos resultados obtidos nas análises.

Rotta (2009) comenta também que a ventilação cruzada nem sempre proporciona o efeito desejado na melhoria das condições de conforto, e afirma que isso ocorre quando não se pode controlar a ventilação ou quando as condições de

vedação das esquadrias não são adequadas, situação que se agrava no inverno. Ela afirma também que o conjunto habitacional que obteve o melhor desempenho térmico possui a capacidade térmica elevada. Conclui, portanto que a capacidade térmica dos edifícios foi o fator determinante nos resultados obtidos do desempenho no verão. Já no inverno outros fatores, como a vedação da envoltória do edifício, interferiram de forma mais decisiva.

Por fim, a autora conclui que a NBR 15220 se aplica melhor a climas quentes e equivocou-se ao indicar coberturas leves para uma região de climas frios e que apresenta uma grande amplitude térmica diária como é o caso de Santa Maria.

2.6. O PAR em Pelotas

O PAR – Programa de Arrendamento Residencial foi lançado pelo Governo Federal em 1999. É operacionalizado pela CEF – Caixa Econômica Federal e sua gestão cabe ao Ministério das Cidades.

O programa visa atender exclusivamente às necessidades de moradia da população de baixa renda, que possua renda familiar entre dois e seis salários mínimos, não possua imóvel em seu nome e tenha o cadastro financeiro aprovado pela CEF. É destinado às capitais, regiões metropolitanas e cidades brasileiras com mais de 100 mil habitantes.

As especificações mínimas para a construção das unidades habitacionais provêm da Secretaria Nacional de Habitação, do Departamento de Produção Habitacional, do Ministério das Cidades. Tais especificações são feitas de acordo com a região brasileira onde será construído o conjunto. São elas que determinam a área e o pé-direito mínimo, materiais de revestimento, tipos de esquadria, louças, metais, redes elétrica e hidráulica a serem utilizados. A legislação vigente na cidade de implantação estipula gabaritos, taxas de ocupação e outros. (DAMÉ, 2008)

Neste contexto o PAR assume uma grave característica, comum aos programas de provimento habitacional, a massificação na produção de moradias. A produção em larga escala estimula a repetição desenfreada das tipologias, desconsiderando aspectos importantes como as características do clima e a escolha de técnicas e materiais adequados à realidade local. O resultado destes fatores pode ser bastante negativo para as condições de habitabilidade do ambiente.

Na cidade de Pelotas, desde a criação do programa em 2001, foram executados 17 empreendimentos dos quais 14 possuem tipologia de edifícios multifamiliares, objeto de estudo desta pesquisa, que somam um total de 2998 unidades habitacionais construídas. Pelotas possui comparativamente ao total de habitantes, o maior número de moradias oferecidas por esta modalidade de aquisição da casa própria no País. (DAMÉ, 2008).

Para definição de quantos e quais empreendimentos teriam seu desempenho térmico avaliado foram realizadas as seguintes etapas de levantamento e estudo:

- Identificação dos empreendimentos construídos através do PAR na cidade de Pelotas;
- Análise tipológica dos edifícios;
- Levantamento das características construtivas de cada empreendimento.

3. METODOLOGIA E OBTENÇÃO DE DADOS

Para a realização da pesquisa de avaliação do desempenho termo-energético de habitações de interesse social produzidas pelo PAR na cidade de Pelotas/RS e obtenção dos dados que atendessem aos objetivos propostos foram realizadas as seguintes etapas:

- Revisão bibliográfica para compreensão dos conceitos relacionados ao tema e das pesquisas já realizadas.
- Definição do objeto de estudo a partir do levantamento realizado;
- Medições de temperaturas e umidades nos apartamentos;
- Avaliação do atendimento aos critérios da NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações e do desempenho térmico de acordo com os parâmetros estabelecidos na NBR 15575 – Desempenho de edifícios habitacionais até cinco pavimentos;
- Avaliação dos dados medidos através dos seguintes parâmetros (I) temperatura do ar, (II) graus-hora e grau-médio, (III) Carta Bioclimática e (IV) NBR 15575;
- Comparação dos resultados obtidos a partir das diferentes metodologias de avaliações;
- Análise das características de projeto do objeto de estudo, identificando a influência direta nos resultados encontrados;

3.1. Definição do objeto de estudo

Inicialmente para identificação dos empreendimentos realizados na cidade de Pelotas foram coletados dados no relatório Histórico Programa Par – REQUALI 2007, realizado pelo Núcleo de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura da UFPel e informações do site da CEF.

A partir destes dados foi possível identificar todos os empreendimentos, o número de unidades habitacionais construídas e a tipologia de cada conjunto, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 – Empreendimentos realizados em Pelotas/RS.

Empreendimento	n° unidades	n° pavimentos	tipologia
Guerreiro	160	4	fita
Marcílio Dias	160	4	fita
Solar do sul	160	4	fita
Bairro cidade	136	4	fita
Alta Vista	132	4	fita
Laçador	120	4	fita
Duque de Caxias	112	4	fita
Cruzeiro	112	4	fita
Porto	140	4	fita
Regente	124	4	fita
Jardins da Baronesa	96	4	fita
Solar das Palmeiras	300	5	fita
Paraíso	240	5	fita
Estrela Gaúcha	300	5	fita
Princesa do Sul	260	2	fita
Querência	218	2	fita
Charqueadas	228	2	fita

2998

Verifica-se na Tabela 6 que todos os empreendimentos possuem tipologia semelhante, apresentando sua organização espacial em fita, não sendo, portanto característica diferencial para a escolha do objeto de estudo. Como segundo procedimento foram coletados dados sobre os sistemas construtivos utilizados em cada um dos conjuntos habitacionais. Estes dados foram obtidos através de memoriais descritivos dos projetos, entrevistas com profissionais das construtoras responsáveis pela execução das obras e vistorias técnicas. O resumo deste levantamento está apresentado na Tabela 7.

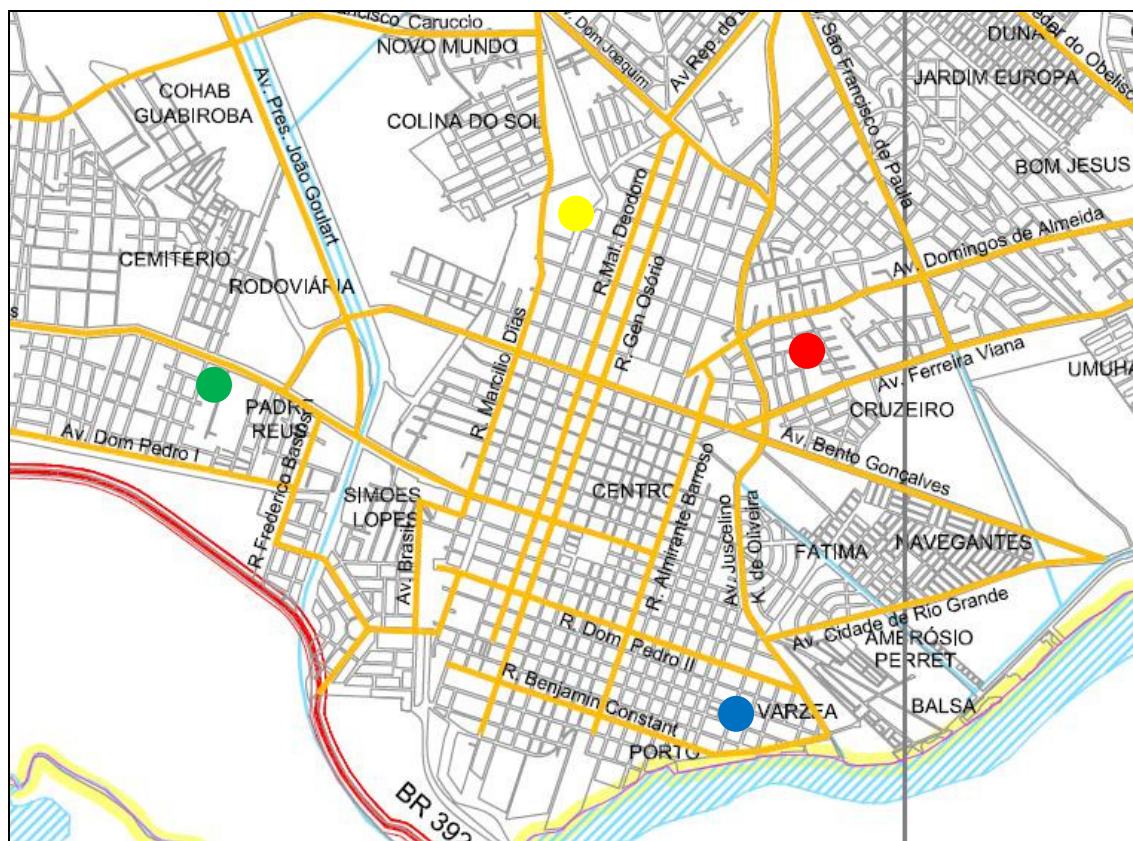
Tabela 7 – Levantamento das características construtivas dos edifícios.

Empreendimentos	Características construtivas		
	paredes externas	paredes internas	cobertura
Guerreiro	tijolos maciços do 1° ao 3° pavimento tijolos furados no 4° pavimento espessura 25 cm acabamento reboco	tijolos maciços do 1° ao 3° pavimento tijolos furados no 4° pavimento espessura 15 cm acabamento reboco	laje pré-fabricada espessura 8 cm telha cerâmica
Marcílio Dias			
Solar do Sul			
Duque de Caxias			
Alta Vista	tijolos maciços espessura 25 cm acabamento reboco	tijolos maciços espessura 15cm acabamento reboco	laje pré-fabricada espessura 8cm telha cerâmica
Bairro cidade	bloco cerâmico espessura 16,5 cm rebocada apenas no exterior	bloco cerâmico espessura 14 cm pintura texturizada	laje pré-fabricada espessura 8cm telha cerâmica
Cruzeiro			
Jardins da Baronesa			
Laçador			
Regente			
Porto	Bloco cerâmico espessura 19 cm acabamento reboco	bloco cerâmico espessura 19 cm acabamento reboco	laje pré-fabricada espessura 8cm telha fibrocimento
Solar das Palmeiras	bloco cerâmico espessura 16,5 cm rebocada apenas no exterior	bloco cerâmico espessura 14 cm pintura texturizada	laje pré-fabricada espessura 8cm telha fibrocimento
Paraíso			
Estrela Gaúcha			

Através deste levantamento foi possível agrupar os edifícios pela semelhança das suas características construtivas. A partir deste critério foram identificados cinco diferentes grupos.

Optou-se então por monitorar um representante de cada grupo. Para determinar qual conjunto dentro dos grupos seria escolhido foram utilizados os critérios da norma. Portanto, foram escolhidos os edifícios que possuem apartamentos com as orientações recomendadas pela NBR 15575 para as medições nas condições de verão (janela do dormitório ou sala voltada para oeste e outra parede exposta voltada para norte) e de inverno (janela do dormitório ou sala voltada para sul e outra parede exposta voltada para leste).

Inicialmente foi definido que a avaliação de desempenho térmico seria realizada nos conjuntos Marcílio Dias, Alta Vista, Regente, Porto e Solar das Palmeiras, em apartamentos habitados, com o propósito de avaliar o desempenho térmico das unidades habitacionais em condições reais de uso.



● PAR – Marcílio Dias

● PAR – Regente

● PAR – Solar das Palmeiras

● PAR – Porto

Figura 6 – Mapa com a localização dos conjuntos habitacionais avaliados.

3.2. Medições de temperatura e umidade nos apartamentos

Para as medições foram utilizados os equipamentos HOBO da Onset Computer Corporation, modelo H08-003-02, para as medições internas, e modelo H08-032-08 para as medições externas. Estes equipamentos são armazenadores de temperatura e umidade relativa do ar. Os sensores operam em faixas de -20°C a $+70^{\circ}\text{C}$ para temperatura e 25% a 95% para a umidade relativa.

Os HOBO podem ser configurados para tomar leituras de tempos em tempos para um período pré-fixado. No fim do período os dados são transmitidos para um microcomputador por meio do programa BOXCAR.

Para a aferição da calibração dos equipamentos de medição utilizados, os aparelhos foram colocados em uma estufa de esterilização e secagem durante cinco dias e, após este período foram feitas as leituras.



Figura 7 – HOBO modelo H08-003-02
Fonte: <http://www.onsetcomp.com>



Figura 8 – HOBO modelo H08-032-08
Fonte: <http://www.onsetcomp.com>

3.3. Coleta de dados

Para instalação dos equipamentos foram consideradas as recomendações da NBR 155775. Como a medição foi realizada em períodos longos e contínuos em ambientes ocupados não foi possível a instalação dos equipamentos no centro do ambiente. Sendo assim, foram instalados nas salas e dormitórios dos apartamentos escolhidos a uma altura de 1.20m do piso, fixados na lateral de armários de modo que ficassem protegidos da radiação solar direta.

A localização dos equipamentos está apresentada na planta baixa de cada um dos apartamentos monitorados conforme figuras 13, 38, 51, 52 e 83 do capítulo 4.

As medições externas foram realizadas no pátio da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas, foram também utilizados dados da estação meteorológica instalada no campus Capão do Leão.

As medições foram realizadas no período de janeiro de 2010 a janeiro de 2011. A seguir são apresentados os períodos específicos de medição de cada um dos apartamentos:

PAR Marcílio Dias:

- 28 de janeiro a 11 de julho de 2010 e 06 de agosto de 2010 a 17 de janeiro de 2011.

PAR Porto:

- 28 de janeiro a 28 de abril de 2010.

PAR Solar das Palmeiras:

- apartamento para condições de inverno, 12 de janeiro de 2010 a 05 de janeiro de 2011.
- apartamento para condições de verão: 28 de janeiro a 07 de julho de 2010.

PAR Regente:

- 28 de janeiro a 07 de julho de 2010 e 06 de agosto de 2010 a 18 de janeiro de 2011.

Os equipamentos foram configurados para realizar coletas horárias, sendo assim o aparelho possui memória suficiente para armazenar dados de 165 dias.

Na primeira coleta os dados foram extraídos com o auxílio de um “*notebook*” nos próprios apartamentos. Na última etapa os equipamentos foram recolhidos e os dados extraídos e exportados para planilhas do software Excel, onde foram quantificadas as horas de conforto/desconforto e gerados os gráficos que serão apresentados no capítulo das análises e resultados.

Com o intuito de identificar a rotina de ocupação e uso do apartamento foi realizada uma entrevista estruturada com os moradores dos apartamentos monitorados.

3.4. Definição dos períodos de análise

A cidade de Pelotas está localizada no extremo sul do Brasil, situada a 31° 36' de latitude sul e 51° 20' de longitude oeste. Distante cerca de 60 km do Oceano Atlântico apresenta um clima subtropical úmido, com inverno bastante frio e verão quente com ventos predominantes do quadrante nordeste (verão) e sudoeste (inverno). A sua proximidade com o mar resulta em elevada umidade atmosférica. As temperaturas ficam em torno de 13°C no inverno e em torno de 23°C no verão.

Para definição dos períodos que seriam avaliados foi realizada uma análise das normais climatológicas da cidade de Pelotas no período de 1971 a 2000, conforme tabelas 8.

A partir desta análise foram identificados como os três meses mais quentes do ano, janeiro, fevereiro e dezembro e como os três meses mais frios, junho, julho e agosto.

Tabela 8 – Normais climatológicas de Pelotas – período 1971 a 2000

Mês	Temperatura Média (°C)	Temperatura Média das Máximas (°C)	Temperatura Média das Mínimas (°C)
Janeiro	23,20	28,20	19,10
Fevereiro	23,00	27,90	19,10
Março	21,70	26,90	17,70
Abril	18,50	24,00	14,40
Maio	15,10	20,80	11,10
Junho	12,40	17,80	8,60
Julho	12,30	17,50	8,60
Agosto	13,40	18,60	9,50
Setembro	14,90	19,60	11,20
Outubro	17,50	22,20	13,60
Novembro	19,60	24,60	15,30
Dezembro	22,00	27,10	17,70
Anual	17,8	22,93	13,83

Fonte: Embrapa em <http://www.cpact.embrapa.br>.

Sendo assim, neste trabalho foram definidos como período de verão os meses de janeiro, fevereiro e dezembro e como período de inverno os meses de junho, julho e agosto.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Os dados são apresentados inicialmente para cada um dos empreendimentos estudados e no final do capítulo é realizada uma comparação entre os resultados encontrados para cada um dos apartamentos analisados.

Primeiramente são apresentadas as características construtivas dos edifícios e na sequência é apresentada a avaliação a partir das medições realizadas.

Para avaliação dos dados medidos nos apartamentos foram realizadas análises através de quatro parâmetros, são eles (I) temperatura do ar, (II) graus-hora e grau-médio, (III) Carta Bioclimática e (IV) NBR 15575.

Em relação à temperatura do ar, no período de verão, os dados foram analisados considerando: (a) sequência de sete dias com maior temperatura média, (b) o dia com maior média de temperatura e (c) o dia com maior amplitude térmica. Já para o período de inverno os dados foram analisados sob os seguintes critérios: (a) sequência de sete dias com menor temperatura média, (b) o dia com menor média de temperatura e (c) o dia com maior amplitude térmica.

Para análise dos graus-dia e grau-médio foram utilizados os limites de conforto da zona de conforto, para países com clima quente e em desenvolvimento, proposta por Givoni (1992). Sendo assim, os limites de temperatura do ar são de 18°C a 29°C.

Na avaliação pela NBR15575, primeiramente foi realizada a identificação de um dia típico de projeto, de verão e de inverno, e então verificado a conformidade dos dados com os critérios estabelecidos pela norma para a avaliação do desempenho térmico no verão e no inverno. O dia típico foi obtido através da metodologia desenvolvida pelo IPT (AKUTSU et al, 1991).

A obtenção da Carta Bioclimática foi realizada através da inserção dos dados horários de temperatura e umidade relativa do ar no programa Analysis Bio, onde os dados coletados foram plotados no Diagrama Bioclimático de Givoni.

4.1. PAR Marcílio Dias

4.1.1. Características construtivas

O conjunto habitacional Marcílio Dias possui 160 unidades habitacionais, distribuídas em três blocos de quatro pavimentos que possuem tipologia em fita. A figura 9 mostra a inserção do conjunto na malha urbana da cidade e o seu entorno. As figuras 10 e 11 mostram vistas gerais do PAR Marcílio Dias.



Figura 9 – Inserção do PAR Marcílio Dias na malha urbana da cidade.
Fonte: Google Earth



Figura 10 – Foto PAR Marcílio Dias



Figura 11 – Foto PAR Marcílio Dias

O apartamento monitorado está localizado no último pavimento, possui paredes externas com orientação sul e leste, as janelas da sala e dos dormitórios estão voltadas para o sul e a janela do banheiro está voltada para o leste.

A figura 12 indica a localização do apartamento na implantação do PAR Marcílio Dias, que atende aos quesitos estabelecidos pela NBR 15575 para ser analisado nas piores condições de inverno.



Figura 12 – Identificação do apartamento monitorado na implantação do PAR Marcílio Dias.

A figura 13 apresenta a planta baixa do apartamento e indica a localização dos aparelhos de medição instalados. Todas as unidades habitacionais do conjunto apresentam as mesmas dimensões e disposição dos ambientes, cada unidade habitacional possui uma área útil de 39,52m².

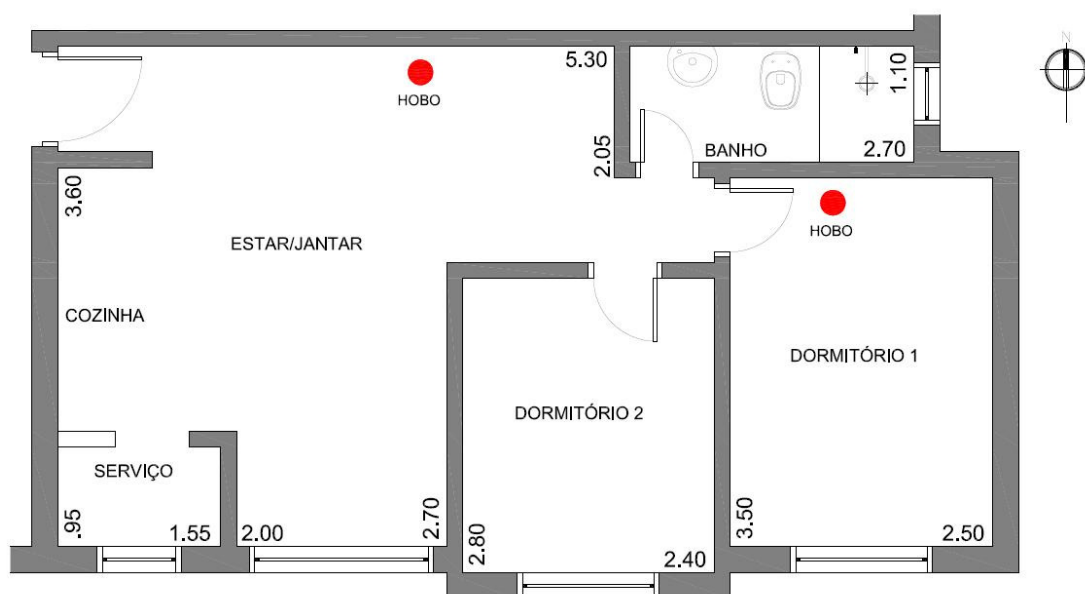


Figura 13 – Planta-baixa do apartamento com a localização dos HOBOS instalados.

O edifício possui as paredes externas em alvenaria de tijolos furados, assentados na maior dimensão, os tijolos possuem dimensões de 10x20x20cm. As paredes possuem revestimento interno e externo em reboco com espessura de 2,5cm, a espessura da argamassa de assentamento é de 1cm. A espessura total da parede é de 25cm. As paredes internas são de alvenaria de tijolos furados, assentados na menor dimensão, os tijolos possuem dimensões de 10x20x20cm. As paredes possuem revestimento interno e externo em reboco com espessura de 2,5cm, a espessura da argamassa de assentamento é de 1cm. A espessura total da parede é de 15cm. A cobertura é de telhas cerâmicas com laje pré-fabricada de concreto de 8cm de espessura.

A tabela 9 apresenta as propriedades térmicas calculadas para os elementos da edificação. Os cálculos foram realizados conforme metodologia apresentada pela NBR 15220.

Tabela 9 – Propriedades térmicas dos componentes construtivos.

Componente	Transmitância térmica U [W/(m².K)]	Capacidade térmica CT [kJ/(m².K)]	Atraso térmico φ [horas]
Alvenaria externa	1,61	232	5,9
Alvenaria interna	2,24	167	3,7
Cobertura	2,10	194,4	4,83

As aberturas são todas em alumínio com sistema de abertura de correr nos dormitórios e sala, e maxi-ar no banheiro. Apenas as janelas dos dormitórios possuem persianas, as demais não possuem nenhum tipo de proteção que proporcione sombreamento.

Na tabela 10 são apresentadas as áreas de cada compartimento, e o percentual de área de ventilação efetiva em relação à área de piso.

Tabela 10 – Áreas compartimentos e área útil de ventilação.

Quadro áreas da unidade habitacional do PAR Marcílio Dias		
Compartimento	Área útil compartimento	Área útil ventilação (% da área do piso)
Dormitório 1	8,75m ²	10,01%
Dormitório 2	6,72m ²	10,36%
Banheiro	2,97m ²	10,86%
Sala/cozinha/serviço	20,32m ²	8,42%
Circulação	1,06m ²	-
Área total	39,52m ²	-

Na entrevista realizada com a moradora foram identificadas as seguintes rotinas de ocupação e uso do apartamento. Durante a semana o apartamento permanece sempre vazio durante o dia e ocupado à noite, nos finais de semana com frequência o apartamento também permanece vazio durante o dia e ocupado apenas à noite. Em relação a ventilação dos ambientes, a moradora relatou que costuma abrir as janelas diariamente, tanto em dias quentes como em dias frios. Já em relação ao uso de aquecedor no inverno a moradora afirmou que utiliza esporadicamente, apenas em dias muito frios. Por fim foi verificado que são utilizadas cortinas em ambas as janelas.

As figuras 14, 15, 16 e 17 apresentam a sala e o dormitório do apartamento monitorado.



Figura 14 – Foto ambiente monitorado no PAR Marcílio Dias – sala (a).



Figura 15 – Foto ambiente monitorado no PAR Marcílio Dias – sala (b).



Figura 16 – Foto ambiente monitorado no PAR Marcílio Dias – dormitório (a).



Figura 17 – Foto ambiente monitorado no PAR Marcílio Dias – dormitório (b).

4.1.2. Avaliação prescritiva

Neste item são apresentadas as avaliações prescritivas, realizadas a partir das características construtivas e de projeto, com relação às diretrizes estabelecidas pelas NBR 15220 e NBR 15575.

4.1.2.1. NBR 15220

Aberturas

A norma estabelece, para a zona bioclimática 2, que a edificação deve possuir aberturas para ventilação médias, o que corresponde de 15% a 25% da área do piso.

Como a sala/cozinha/serviço possui uma área de ventilação de 8,42% em relação à área do piso, o dormitório de casal 10,01% e o segundo dormitório 10,36%, verifica-se que a unidade habitacional não possui a área mínima de ventilação especificada.

Em relação ao sombreamento, apenas os quartos atendem à diretriz da norma, pois apenas estes dois compartimentos possuem persianas que proporcionam sombreamento no verão e permitem o sol durante o inverno.

Propriedades térmicas paredes

Através das características construtivas da edificação, constatou-se que as paredes externas da edificação possuem uma transmitância térmica de 1,61 W/m², portanto atende as exigências na norma que fixa como valor máximo 3,00 W/m².

O atraso térmico obtido para as paredes é de 5,9 horas, portanto não atende às diretrizes da norma, o valor ficou superior ao da norma que fixa como valor máximo 4,3 horas.

Propriedades térmicas da cobertura

Através das características construtivas da edificação, constatou-se que a cobertura possui uma transmitância térmica de 2,10 W/m², portanto não atende as exigências na norma que fixa como valor máximo 2,0 W/m².

O atraso térmico obtido para as paredes é de 4,83 horas, portanto não atende às diretrizes, pois o valor ficou superior ao da norma que fixa como valor máximo 3,3 horas.

Estratégias de condicionamento térmico passivo

Em relação às estratégias de condicionamento térmico passivo a norma recomenda ventilação cruzada, aquecimento solar e vedações internas pesadas.

Para avaliação da estratégia de ventilação cruzada foi tomado como base as recomendações do RTQ-R que estabelece que a edificação deve possuir janelas em duas diferentes fachadas (opostas ou adjacentes) e orientações e atender à proporção da equação $A_2/A_1 \geq 0,25$ (onde A_1 é o somatório das áreas de ventilação localizadas na fachada da orientação com maior área de abertura e A_2 somatório das áreas efetivas de ventilação localizadas nas fachadas das demais orientações).

Sendo $A_1=3,28\text{m}^2$ e $A_2=0,41\text{m}^2$, temos $0,41/3,28 = 0,12$, portanto não atende ao uso da estratégia ventilação cruzada.

Em relação ao aquecimento solar, a posição do apartamento em relação à trajetória solar não favorece a incidência de sol durante o inverno nos compartimentos de permanência prolongada. Estes ambientes possuem as aberturas voltadas para o sul, orientação esta que recebe radiação solar de apenas 368 W/m^2 por dia no solstício de inverno, referente a radiação difusa, o que representa apenas 8% em relação ao norte que é a orientação que recebe mais radiação solar neste período, chegando a 4654 W/m^2 .

A estratégia de utilização de vedações internas pesadas não está de acordo com a norma, pois as alvenarias internas do edifício propiciam um atraso térmico de 3,7 horas e de acordo com a norma para uma parede ser considerada pesada teria que ter um atraso térmico maior do que 6,5 horas.

4.1.2.2. NBR 15575

Parte 4: Fachadas e paredes internas

Requisito – adequação de paredes externas

Através das características construtivas da edificação, constatou-se que as paredes externas da edificação possuem uma transmitância térmica de $1,61 \text{ W/m}^2$. A norma estabelece que o valor máximo admissível para a transmitância térmica, para

a zona bioclimática 2, deve ser igual ou inferior a $2,5 \text{ W/m}^2$, portanto as paredes externas atendem as exigências na norma para o nível de desempenho mínimo em relação a transmitância térmica.

A capacidade térmica (CT) obtido para as paredes externas é de $232 \text{ KJ/(m}^2\cdot\text{K)}$. A norma estabelece que o valor mínimo admissível para a capacidade térmica, para a zona bioclimática 2, deve ser igual ou superior a $130 \text{ KJ/(m}^2\cdot\text{K)}$, portanto as paredes externas atendem as exigências na norma para o nível de desempenho mínimo em relação a capacidade térmica.

Requisito – ventilação dos ambientes internos à habitação

A norma estabelece, para a zona bioclimática 2, que a edificação deve possuir aberturas para ventilação interna dos ambientes de longa permanência, salas, cozinhas e dormitórios, com vãos que correspondam no mínimo 8% da área do piso.

O ambiente da sala/cozinha/serviço possui uma área de ventilação de 8,42% em relação à área do piso, o dormitório de casal 10,01% e o segundo dormitório 10,36%. Com base nestes dados observa-se que em relação à ventilação dos ambientes o conjunto habitacional atende a exigência da norma.

Requisito – sombreamento das aberturas localizadas em paredes externas

A norma estabelece que as janelas dos dormitórios, para qualquer região bioclimática, devem ter dispositivo de sombreamento. Neste requisito o projeto atende as exigências da norma e possui o nível de desempenho mínimo exigido, pois os dormitórios possuem persianas.

Parte 5: Coberturas

Requisito – isolamento térmica da cobertura

Através das características construtivas da edificação, constatou-se que a cobertura possui uma transmitância térmica de $2,10 \text{ W/m}^2$. A norma estabelece que o valor máximo admissível para a transmitância térmica, para a zona bioclimática 2, deve ser igual ou inferior a $2,30 \text{ W/m}^2$, portanto atende as exigências na norma para o nível de desempenho mínimo em relação a transmitância térmica.

4.1.3. Avaliação a partir dos dados obtidos nas medições

4.1.3.1. Comportamento térmico no verão

Para análise do período de verão foram considerados os dados medidos de 28 de janeiro a 28 de fevereiro de 2010 e de 01 de dezembro de 2010 a 17 de janeiro de 2011. Foram realizadas medições na sala e em um dos dormitórios do apartamento.

4.1.3.1.1. Temperatura do ar

A temperatura média do ar externo durante o período analisado foi de 24,98°C, enquanto que dentro do apartamento a temperatura média foi de 26,40°C na sala e de 26,27°C no dormitório.

Os gráficos das figuras 18 e 19 apresentam o comportamento médio da temperatura do ar, no exterior e no interior do apartamento durante o período analisado.

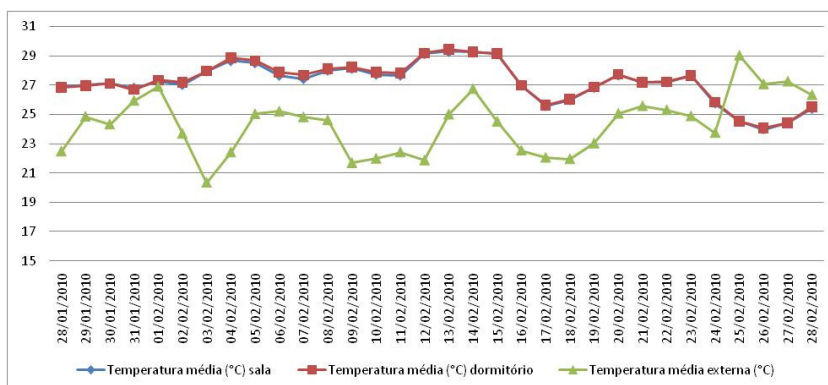


Figura 18 – Gráfico da variação das temperaturas médias diárias no período de 28 de janeiro a 28 de fevereiro de 2010.

Destaca-se no gráfico das figuras 18 e 19, que na grande maioria dos dias, durante o período analisado, as médias das temperaturas internas se mantiveram mais altas que as médias das temperaturas externas. Observa-se que a envoltória da edificação não conseguiu amortecer os efeitos das amplitudes externas, mantendo as temperaturas internas elevadas.

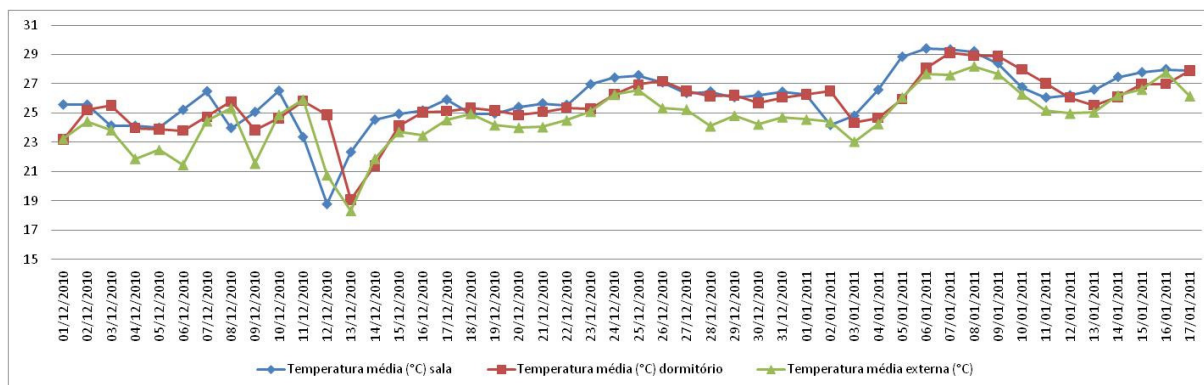


Figura 19 – Gráfico da variação das temperaturas médias diárias no período de 01 de dezembro de 2010 a 17 de janeiro de 2011.

Semana com a maior média de temperatura

A sequência de sete dias com a maior média das máximas diárias ocorreu entre os dias 30 de janeiro e 05 de fevereiro de 2011. O gráfico da figura 20 permite a visualização da distribuição das temperaturas durante este período.

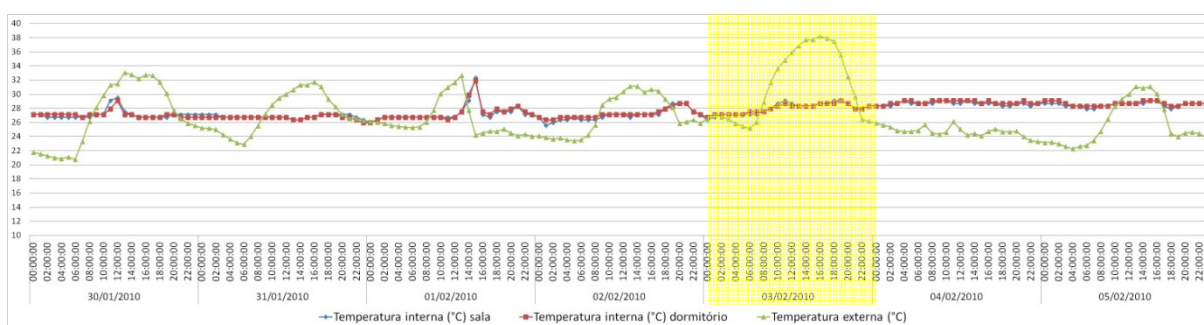


Figura 20 – Gráfico da variação da temperatura do ar durante a semana com a maior média de temperatura.

A média das máximas diárias de temperatura para esta semana foi de 32°C. A temperatura máxima registrada foi de 38,22°C às 16h do dia 03 de fevereiro. O valor máximo registrado no interior do apartamento foi de 32,34°C na sala e ocorreu às 15h do dia 01 de fevereiro. No dormitório a temperatura máxima foi de 29,9°C às 14h também do dia 01 de fevereiro.

A temperatura média do ar no exterior foi de 27,06°C enquanto que a média interna calculada foi de 27,62°C na sala e de 27,69°C no dormitório.

Durante a semana foram registradas amplitudes de temperaturas externa entre 2,83°C e 13,04°C, com uma média de 8,88°C. Já no interior a oscilação ficou

entre 0,78°C e 6,39°C na sala, com uma amplitude média de 2,55°C, e entre 0,79°C e 5,98°C no dormitório, com uma amplitude média de 2,24°C.

Dia com a maior média de temperatura

O dia com maior média de temperatura durante o período foi o dia 03 de fevereiro, onde a média calculada foi de 27,96°C na sala do apartamento, 27,96°C no dormitório e de 31,27°C no exterior do apartamento.

O valor máximo de temperatura externa registrado durante o dia ocorreu às 16hs, chegando ao limite de 38,22°C. Verificou-se um atraso térmico de duas horas em relação ao valor máximo registrado na sala e de três horas no dormitório. O valor máximo de temperatura no interior do apartamento foi de 29,10°C e ocorreu na sala às 18hs e 19hs e no dormitório às 19hs.

Verifica-se no gráfico da figura 21 que apenas a partir das 22hs a temperatura externa apresenta valores inferiores a temperatura interna, sendo assim o horário ideal pra que se utilize a estratégia de ventilação natural para resfriamento da edificação.

Observa-se também que mesmo a temperatura externa tendo apresentado uma amplitude térmica elevada de 13,04°C, com um pico de temperatura chegando aos 38,22°C, a temperatura interna do apartamento se manteve praticamente a mesma, apresentando uma amplitude térmica de apenas 2,76°C na sala e de 2,37°C no dormitório.

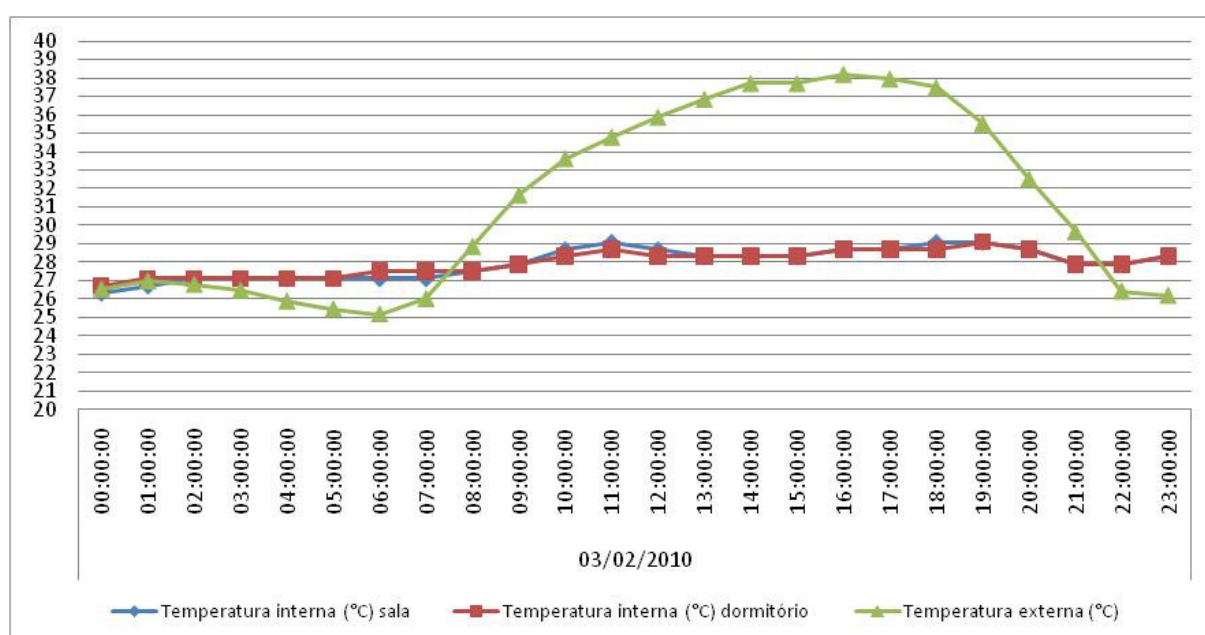


Figura 21 – Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a maior média de temperatura.

Maior amplitude térmica e o amortecimento proporcionado pela construção

A maior amplitude diária, durante o período de verão analisado, ocorreu no dia 14 de dezembro com uma variação de 14,67°C em sete horas.

Os valores externos variaram de 15,23°C a 29,9°C, enquanto que no interior do apartamento a temperatura máxima foi de 28,34°C na sala e de 24,01°C no dormitório, já a temperatura mínima foi de 19,81°C na sala e de 20,57°C no dormitório.

O amortecimento térmico verificado foi de 3,56°C para as máximas e de 5,34°C para as mínimas.

O atraso térmico para as máximas foi de cinco horas na sala e de nove horas no dormitório. Já para as mínimas não se verifica atraso térmico em relação a temperatura mínima externa.

O gráfico da figura 22 demonstra a variação da temperatura do ar no exterior e no interior do apartamento.

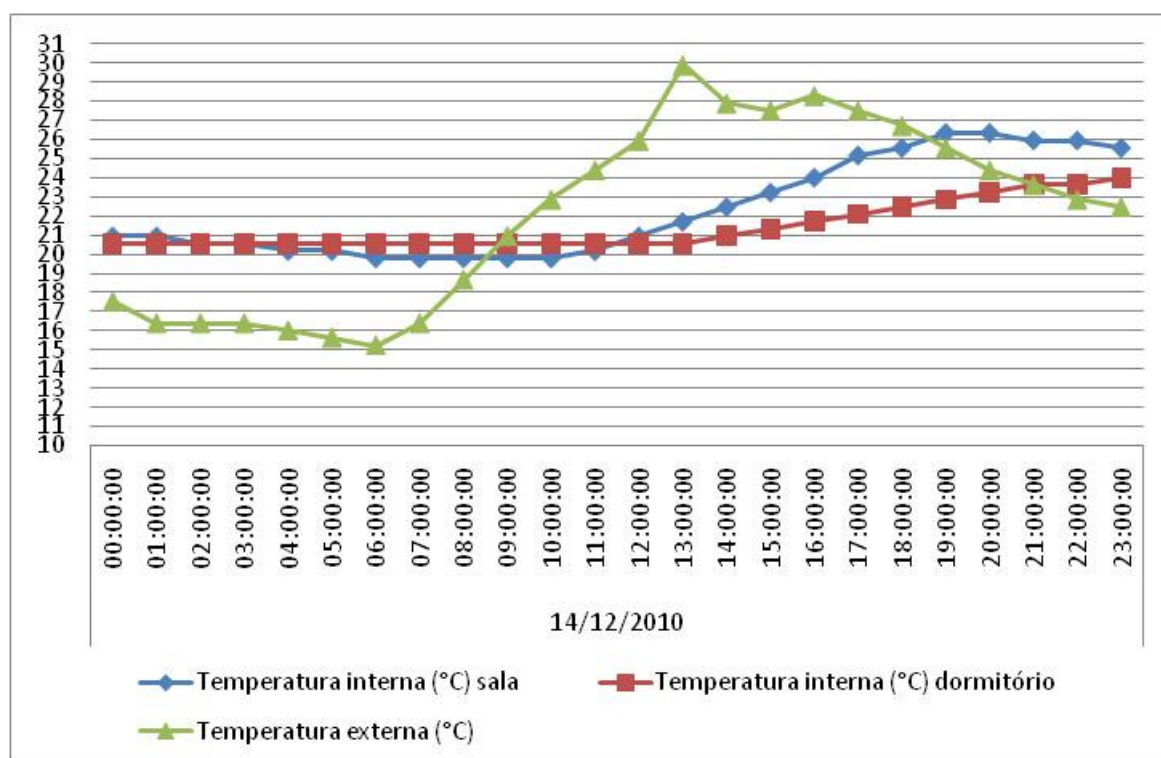


Figura 22 – Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a maior amplitude térmica.

4.1.3.1.2. Graus-hora e grau-médio

A tabela 11 apresenta o somatório de graus-hora, o número de horas com temperatura fora dos limites das temperaturas-base e o grau-médio calculado, para o período de verão.

Tabela 11 – somatório graus-hora para refrigeração.

Temperatura base	Temperatura interna			Temperatura externa		
	Graus-hora	n° de horas	Grau-médio	Graus-hora	n° de horas	Grau-médio
29°C	87,42	171	0,51	299,56	277	1,08

Em um total de 1920 horas, observa-se que no interior do apartamento ocorreram 171 horas acima da temperatura base de 29°C, as quais geraram um somatório de 87,42 graus-hora e um grau-médio de 0,51 enquanto que, externamente foram 277 horas, com um somatório de graus-hora de 299,56 e um grau-médio de 1,08.

Tabela 12 – somatório graus-hora para aquecimento

Temperatura base	Temperatura interna			Temperatura externa		
	Graus-hora	n° de horas	Grau-médio	Graus-hora	n° de horas	Grau-médio
18°C	12,52	15	0,83	152,57	76	2,01

Na tabela 12 observa-se que mesmo o período analisado sendo de verão foi observado 76 horas que ficaram abaixo da temperatura-base de 18°C nos registros de temperaturas externas, com um somatório de 152,57 graus-hora e um grau-médio de 2,01. No interior do apartamento foram registradas 15 horas abaixo da temperatura-base de 18°C, com um somatório de graus-hora de 12,52 e um grau-médio de 0,83.

4.1.3.1.3. Carta bioclimática

As cartas bioclimáticas foram plotadas com os dados horários de temperatura e umidade relativa do ar medidos no ambiente da sala e no exterior do apartamento.

Através da carta bioclimática apresentada na figura 23 é possível observar a distribuição dos valores de temperatura e umidade relativa durante o período de verão no interior do apartamento.

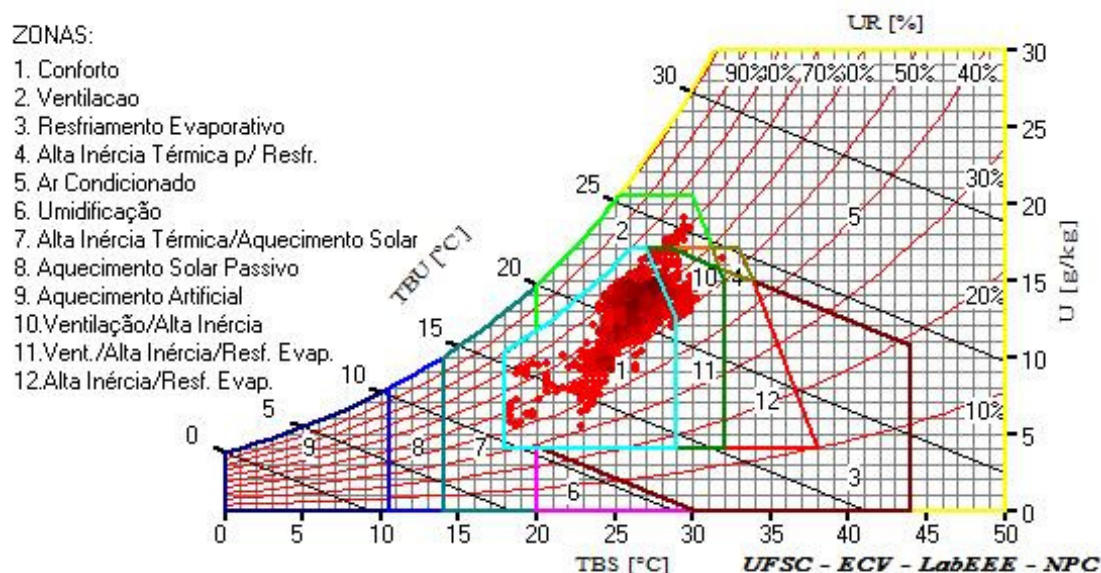


Figura 23 – Carta bioclimática com os dados da sala no período de 28 de janeiro a 28 de fevereiro de 2010 e 01 de dezembro de 2010 a 17 de janeiro de 2011.

Em um total de 1920 horas monitoradas, 82,86% das horas estão dentro da zona de conforto, o que representa um universo de 1591 horas.

A figura 24 apresenta os dados das temperaturas externas no mesmo período.

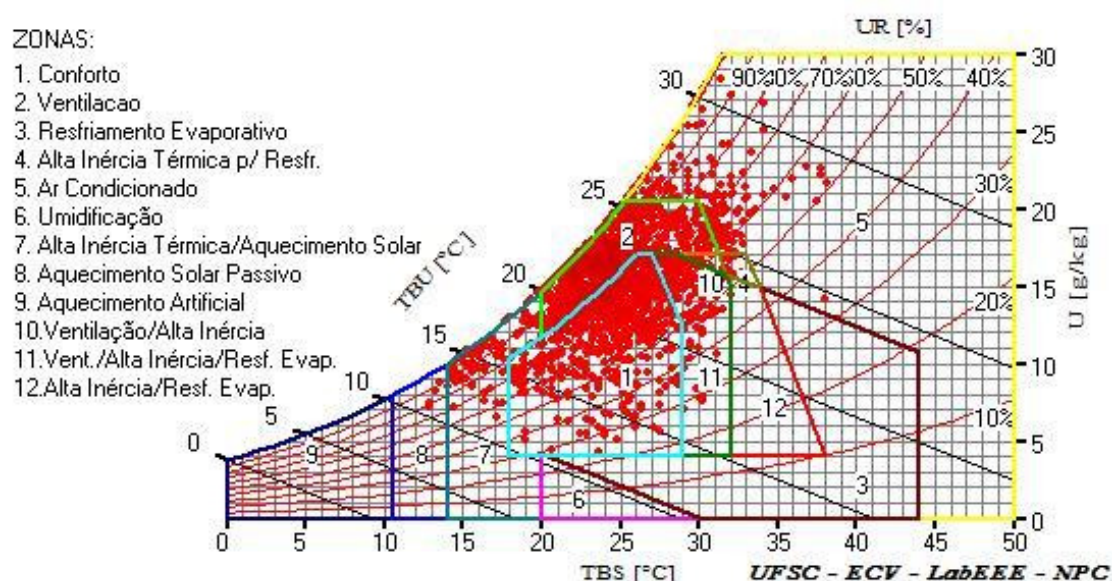


Figura 24 – Carta bioclimática com os dados externos no período de 28 de janeiro a 28 de fevereiro de 2010 e 01 de dezembro de 2010 a 17 de janeiro de 2011.

Para as condições externas, 37% das horas estão dentro da zona de conforto, e 63% em desconforto, sendo 5,10% de desconforto por frio e 57,90% desconforto por calor. Pode-se verificar que houve melhora das condições de conforto no interior do apartamento em relação ao ambiente externo.

4.1.3.1.4. NBR 15575

O dia 20 de fevereiro foi identificado como dia típico de verão para um nível de frequência de ocorrência acumulada (FOA) de 95%. O tratamento estatístico dos dados identificou que para FOA de 95% a temperatura máxima estaria na faixa de 33,95°C a 34,95°C, conforme ajuste de distribuição normal. Ou seja, somente 5% dos dias teriam temperatura máxima acima de 34,95°C. Dentre os dias identificados para este FOA, o dia 20 de fevereiro foi o que apresentou menor desvio padrão de suas temperaturas horárias.

O gráfico da figura 25 demonstra a variação da temperatura do ar no interior e no exterior do apartamento no dia típico, nos dias que o precederam e no dia que o sucedeu.

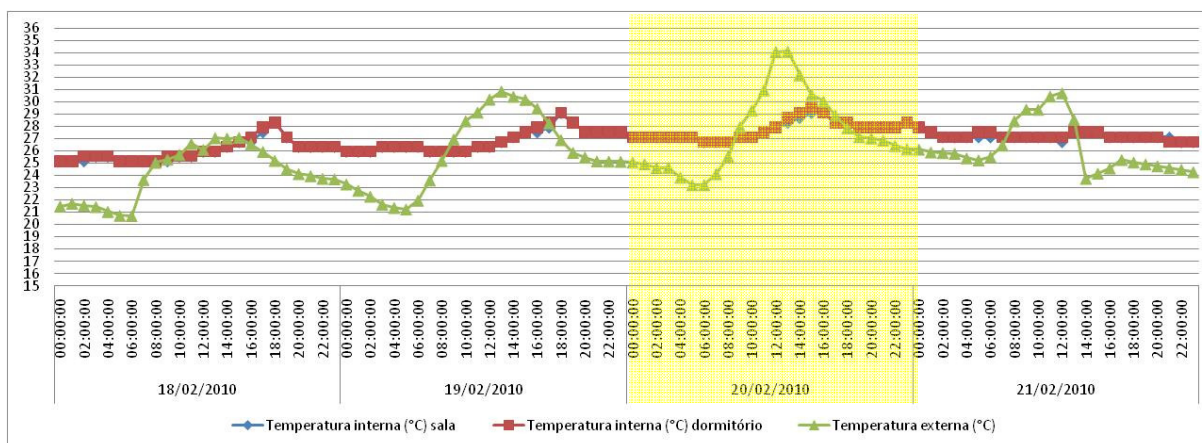


Figura 25 – Gráfico da variação da temperatura do ar na seqüência de dias que engloba o dia típico de verão.

A norma estabelece que para desempenho mínimo o valor máximo diário da temperatura do ar no interior dos ambientes de permanência prolongada seja menor que o valor máximo diário da temperatura do ar exterior. A temperatura máxima registrada no interior do apartamento foi de 29,10°C na sala e de 29,5°C no dormitório enquanto que a temperatura máxima do ar no exterior foi de 34,10°C,

portanto atende ao critério de desempenho mínimo da NBR 15575. Entretanto, fazendo a análise para atendimento do desempenho intermediário o apartamento não atende ao critério, pois a temperatura do ar teria que ter se mantido abaixo dos 29°C.

4.1.3.2. Comportamento térmico no inverno

4.1.3.2.1. Temperatura do ar

Para análise do período de inverno foram considerados os dados de 01 de junho a 11 de julho de 2010 e de 06 de agosto a 31 de agosto de 2010. Foram realizadas medições na sala e em um dos dormitórios do apartamento.

A temperatura média do ar externo durante o período analisado foi de 15,72°C, enquanto que dentro do apartamento a temperatura média foi de 16,00°C na sala e de 15,78°C no dormitório.

Os gráficos das figuras 26 e 27 apresentam o comportamento médio da temperatura do ar no exterior e no interior do apartamento durante o período analisado.

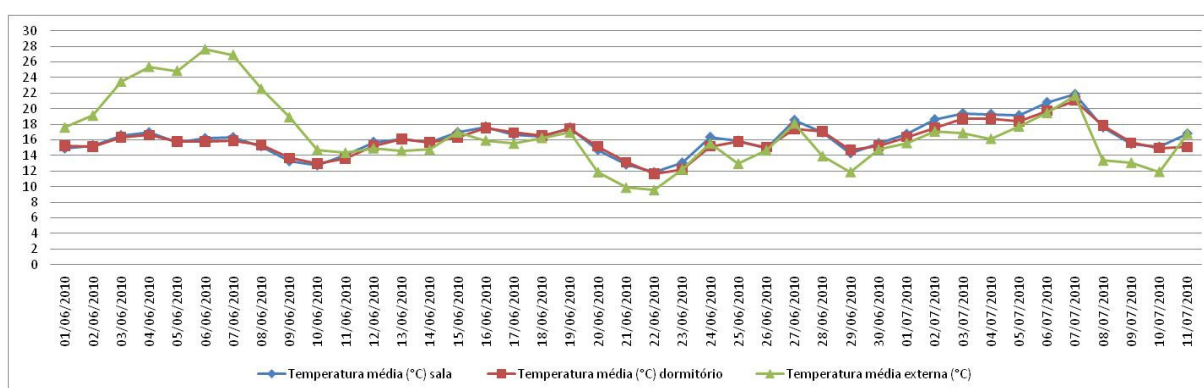


Figura 26 – Gráfico da variação das temperaturas médias diárias no período de 01 de junho a 11 de julho de 2010.

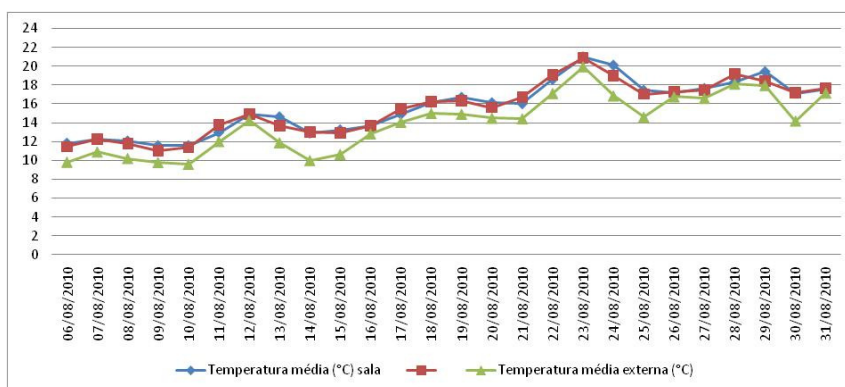


Figura 27 – Gráfico da variação das temperaturas médias diárias no período de 06 de agosto a 31 de agosto de 2010.

Destaca-se no gráfico que praticamente em todo período, com exceção do período de 03 a 11 de junho, que as médias de temperaturas internas do apartamento se mantiveram mais altas que as médias de temperaturas externas.

Semana com a menor média de temperatura

Como já apontado a seqüência de sete dias com a menor média das mínimas diárias ocorreu entre os dias 01 e 08 de agosto de 2010. Mas como nesta data o equipamento ainda não estava instalado no apartamento a análise será da segunda seqüência de sete dias com a menor média das mínimas que foi entre os dias 06 e 12 de agosto, apresentando sua média das mínimas 1,96°C acima da semana com a menor média das mínimas.

O gráfico da figura 28 permite a visualização da distribuição das temperaturas durante este período.

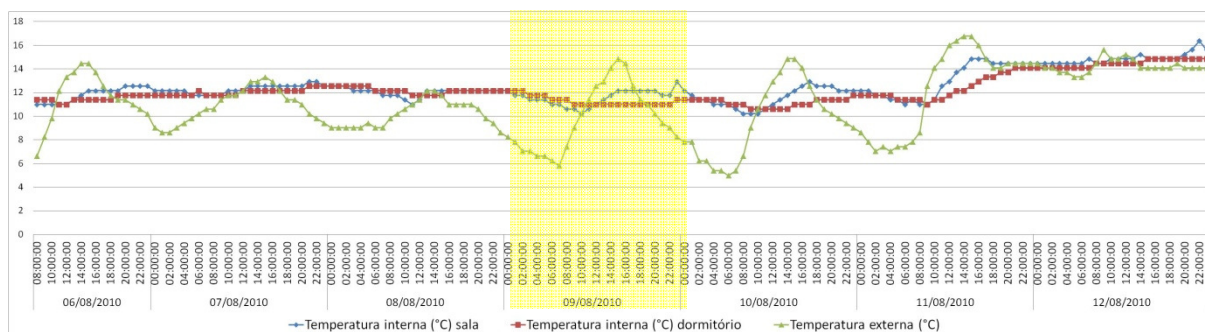


Figura 28 – Gráfico da variação da temperatura do ar durante a semana com a menor média de temperatura.

A média das mínimas diárias de temperatura calculada para esta semana foi de 7,74°C. A temperatura externa mínima registrada foi de 4,99°C às 6hs do dia 10 de agosto. O valor mínimo registrado na sala foi de 10,21°C e se repetiu em quatro ocasiões, às 10hs do dia 9 de agosto e às 8hs, 9hs e 10hs do dia 10 de agosto. No dormitório a temperatura mínima também ocorreu no dia 10 de agosto e se repetiu em seis ocasiões, às 9hs, 10hs, 11hs, 12hs 13hs e 14hs.

A temperatura média do ar no exterior foi de 11,19°C enquanto que a média interna calculada foi de 12,47°C na sala e de 12,16°C no dormitório.

Durante a semana foram registradas amplitudes de temperatura externa entre 2,3°C e 9,86°C, com uma média de 6,71°C. Já no interior a oscilação ficou entre 1,16°C e 3,86°C na sala, com uma amplitude média de 2,21°, e entre 0,76°C e 3,10°C no dormitório, com uma amplitude média de 1,22°C.

Dia com a menor média de temperatura.

O dia com a menor média de temperatura durante o período foi o dia 09 de agosto, onde a média calculada foi de 11,56°C na sala do apartamento, 11,30°C no dormitório e de 9,76°C no exterior do apartamento.

O valor mínimo de temperatura externa registrado durante o dia ocorreu às 7hs chegando ao limite de 5,81°C. Verificou-se um atraso térmico de duas horas em relação ao valor mínimo registrado no dormitório e de três horas na sala. O valor mínimo de temperatura no interior do apartamento foi de 10,21°C e ocorreu na sala, já no dormitório a temperatura mínima registrada foi de 10,99°C.

O gráfico da figura 29 demonstra a variação da temperatura do ar no interior e no exterior do apartamento no decorrer do dia.

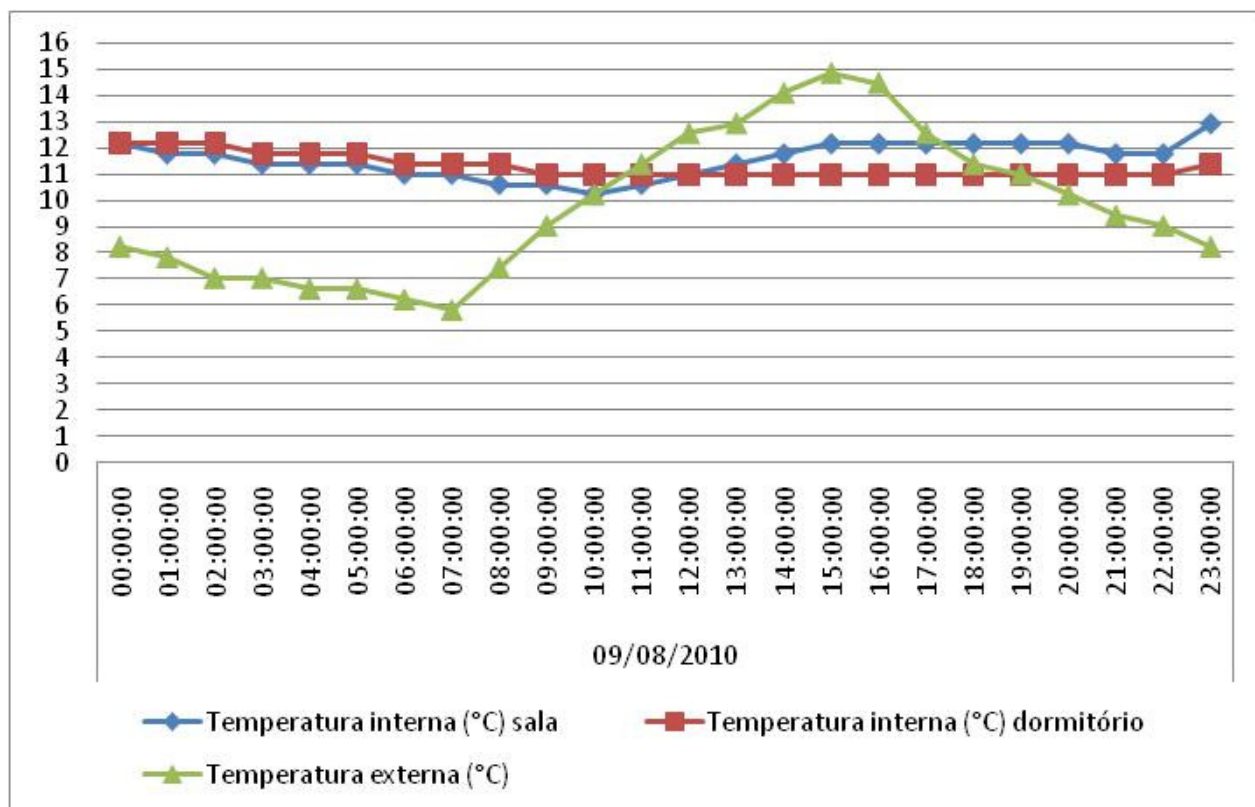


Figura 29 – Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a menor média de temperatura.

Maior amplitude térmica e o amortecimento proporcionado pela construção

A maior amplitude diária, durante o período de inverno analisado, ocorreu no dia 7 de junho com uma variação de 20,20°C em 8 horas.

Os valores externos variaram de 18,34°C a 38,54°C, enquanto que no interior do apartamento a temperatura máxima foi de 18,28°C na sala e de 16,38°C no dormitório, a temperatura mínima foi de 14,85°C na sala e também no dormitório.

O amortecimento térmico verificado foi de 22,16°C para as máximas e de 3,49°C para as mínimas.

O atraso térmico para as máximas foi de sete horas no dormitório e de oito horas na sala. Já para as mínimas o atraso térmico foi de duas horas na sala e de quatro horas no dormitório.

O gráfico da figura 30 demonstra a variação da temperatura do ar no interior e no exterior do apartamento.

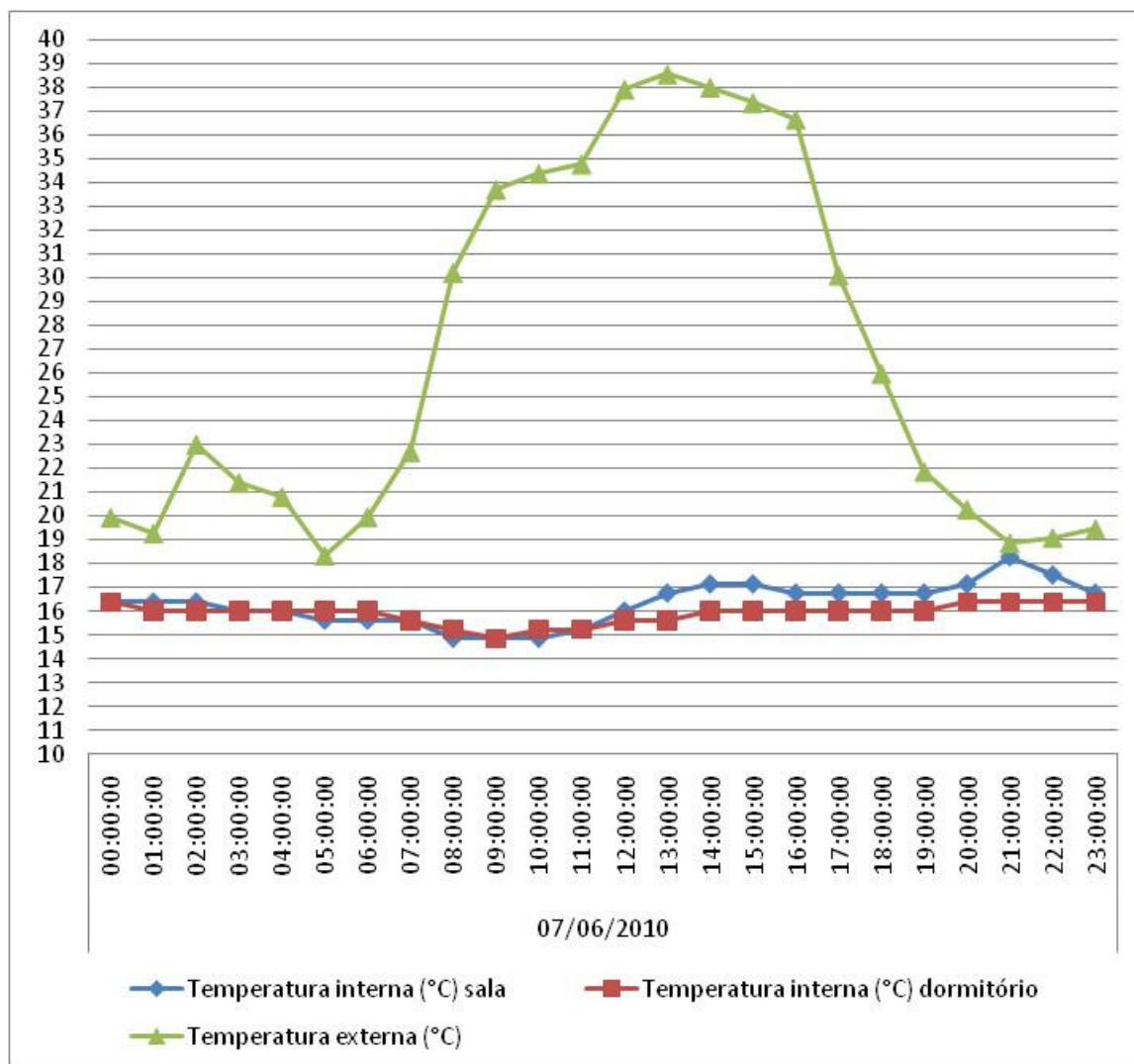


Figura 30 – Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a maior amplitude térmica.

Observa-se que, apesar da onda de calor, a edificação não consegue se beneficiar e permanece com temperaturas abaixo dos 18°C. Uma das causas certamente é a orientação da edificação que não recebe radiação solar direta, mas outra causa pode estar associada à carência de ventilação cruzada para poder permitir trocas de ar mais intensas entre o ambiente interno e externo ou até a não percepção do usuário, mantendo as janelas fechadas.

4.1.3.2.2.

Graus-hora e grau-médio

A tabela 13 apresenta o somatório de graus-hora, o número de horas com temperatura fora dos limites das temperaturas-base e o grau-médio calculado, para o período de inverno.

Tabela 13 – Somatório graus-hora para aquecimento.

Temperatura base	Temperatura interna			Temperatura externa		
	Graus-hora	n° de horas	Grau-médio	Graus-hora	n° de horas	Grau-médio
18°C	3720,23	1325	2,81	5562,4	1252	4,44

Em um total de 1594 horas, observa-se que no interior do apartamento ocorreram 1325 horas abaixo da temperatura base de 18°C, as quais geraram um somatório de 3720,23 graus-hora e um grau-médio de 2,81 enquanto que, externamente foram 1252 horas, com um somatório de graus-hora de 5562,4 e um grau-médio de 4,44.

A Tabela 13 demonstra que o frio no exterior era mais intenso, e que a edificação amortece estas temperaturas mais baixas. Por outro lado, ocorreram mais horas de frio no interior da edificação do que no exterior. Como comentado anteriormente, a edificação não está conseguindo se beneficiar das temperaturas mais elevadas que ocorrem no exterior.

Na tabela 14 observa-se que mesmo o período analisado sendo de inverno, 46 horas ficaram acima da temperatura-base de 29°C nos registros de temperaturas externas. No interior do apartamento não houve nenhum registro acima de 29°C.

Tabela 14 – Somatório graus-hora para refrigeração.

Temperatura base	Temperatura interna			Temperatura externa		
	Graus-hora	n° de horas	Grau-médio	Graus-hora	n° de horas	Grau-médio
29°C	-	-	-	191,51	46	4,16

4.1.3.2.3.

Carta bioclimática

As cartas bioclimáticas foram plotadas com os dados horários de temperatura e umidade relativa do ar, medidos no ambiente da sala e no exterior do apartamento.

Através da carta bioclimática apresentada na figura 31 é possível observar a distribuição dos valores de temperatura e umidade relativa durante o período de inverno.

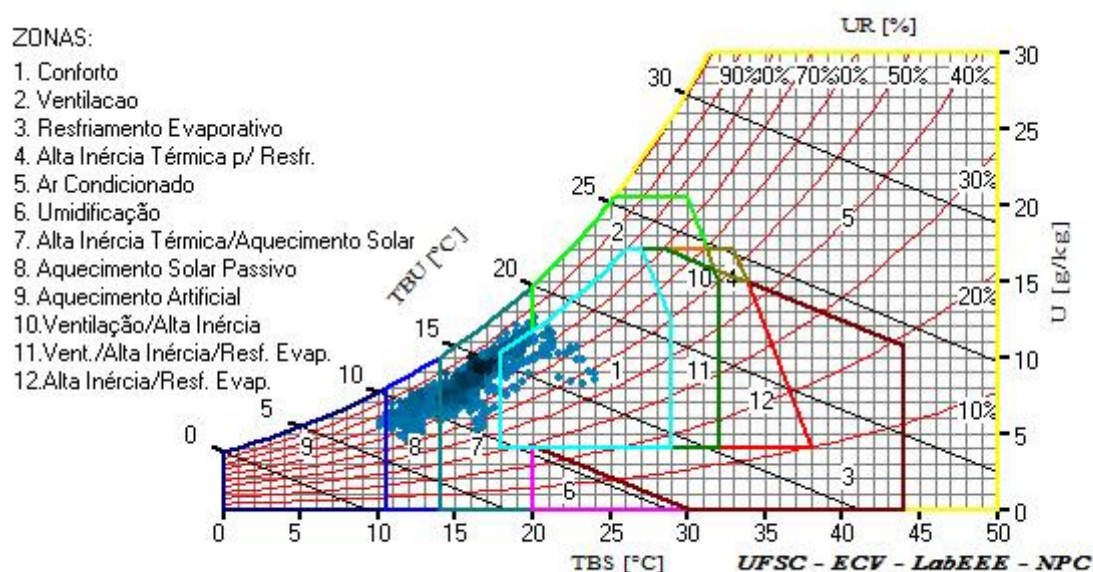


Figura 31 – Carta bioclimática com os dados da sala no período de 01 de junho a 11 de julho de 2010 e 06 de agosto a 31 de agosto de 2010.

Em um total de 1594 horas monitoradas, apenas 10,85% das horas estão dentro da zona de conforto, o que representa 173 horas.

A figura 32 apresenta os dados das temperaturas externas no mesmo período.

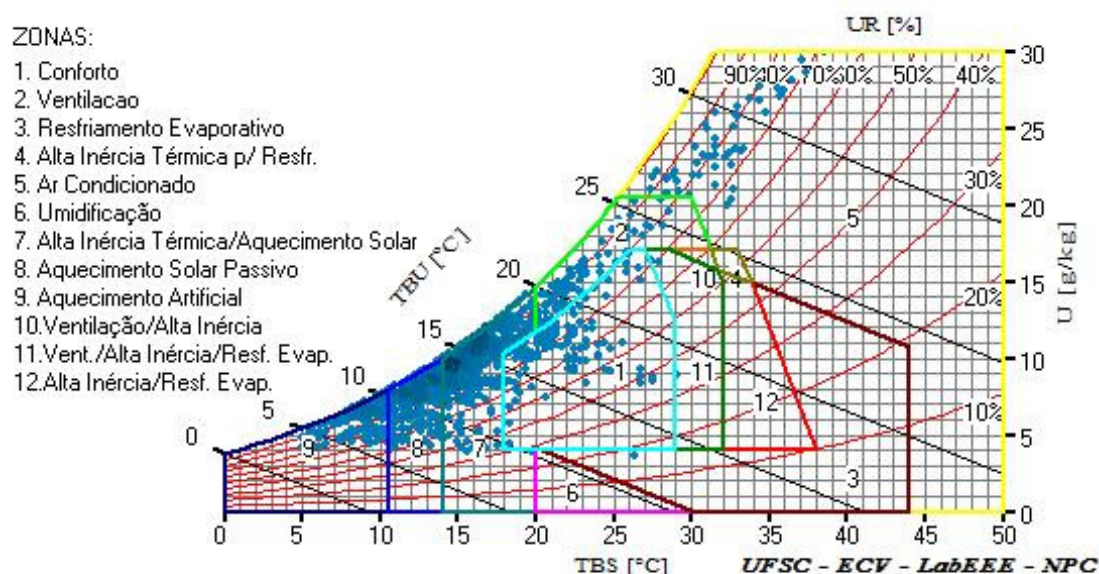


Figura 32 – Carta bioclimática com os dados externos no período de 01 de junho de 2010 a 11 de julho de 2011 e de 06 de agosto de 2010 a 31 de agosto de 2011.

Para as condições externas, 8% das horas estão dentro da zona de conforto, e 92% em desconforto, sendo 84% de desconforto por frio e 8% desconforto por

calor. Pode-se verificar que houve melhora das condições de conforto no interior do apartamento em relação ao ambiente externo.

4.1.3.2.4.

NBR 15575

O dia 21 de junho foi identificado como dia típico de inverno, para um nível de frequência de ocorrência acumulada (FOA) de 5%. O tratamento estatístico dos dados identificou que para FOA de 5% a temperatura mínima estaria na faixa de 6°C a 7°C, conforme ajuste de distribuição gama. Ou seja, somente 5% dos dias teriam temperatura mínima abaixo de 6°C. Dentre os dias identificados para este FOA, o dia 21 de junho não foi o que apresentou menor desvio padrão de suas temperaturas horárias. Este foi adotado, porque no dia com menor desvio padrão horário nem todos os apartamentos foram monitorados.

O gráfico da figura 33 demonstra a variação da temperatura do ar no interior e no exterior do apartamento no dia típico, nos dias que o precederam e no dia que o sucedeu.

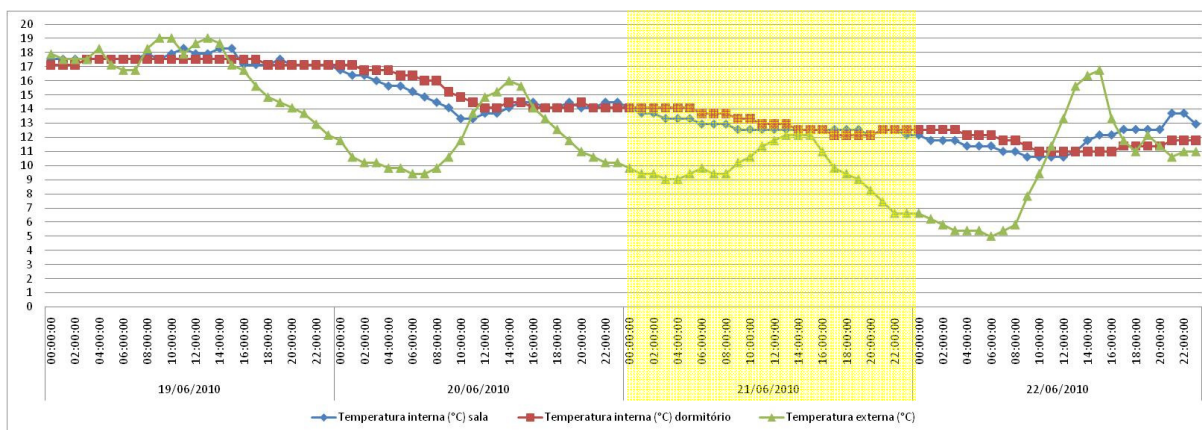


Figura 33 – Gráfico da variação da temperatura do ar na seqüência de dias que engloba o dia típico de inverno.

A norma estabelece que para desempenho mínimo o valor mínimo da temperatura do ar no interior dos ambientes de permanência prolongada deva ser maior que 12°C. A temperatura mínima registrada no interior do apartamento foi de 13,7°C na sala e de 14,09°C no dormitório, portanto atendem ao critério de desempenho mínimo da NBR 15575. Entretanto, fazendo a análise para atendimento do desempenho intermediário o apartamento não atende ao critério, pois a temperatura do ar teria que ter se mantido acima dos 15°C.

4.2. PAR Porto

4.2.1. Características construtivas

O conjunto habitacional Porto possui 140 unidades habitacionais, distribuídas em quatro blocos de quatro pavimentos que possuem tipologia em fita com pátio interno. A figura 34 mostra a inserção do conjunto na malha urbana da cidade e o seu entorno. As figuras 35 e 36 mostram vistas gerais do PAR Porto.



Figura 34 – Inserção do PAR Porto na malha urbana da cidade.
Fonte: Google Earth.



Figura 35 – Foto PAR Porto.



Figura 36 – Foto PAR Porto.

O apartamento monitorado está localizado no último pavimento, possui paredes externas com orientação norte e oeste, todas as janelas estão voltadas para o oeste, a parede voltada para a o norte não possui aberturas.

A figura 37 indica a localização do apartamento monitorado na implantação do PAR Porto, que atende aos quesitos estabelecidos pela NBR 15575 para ser analisado nas piores condições de verão.

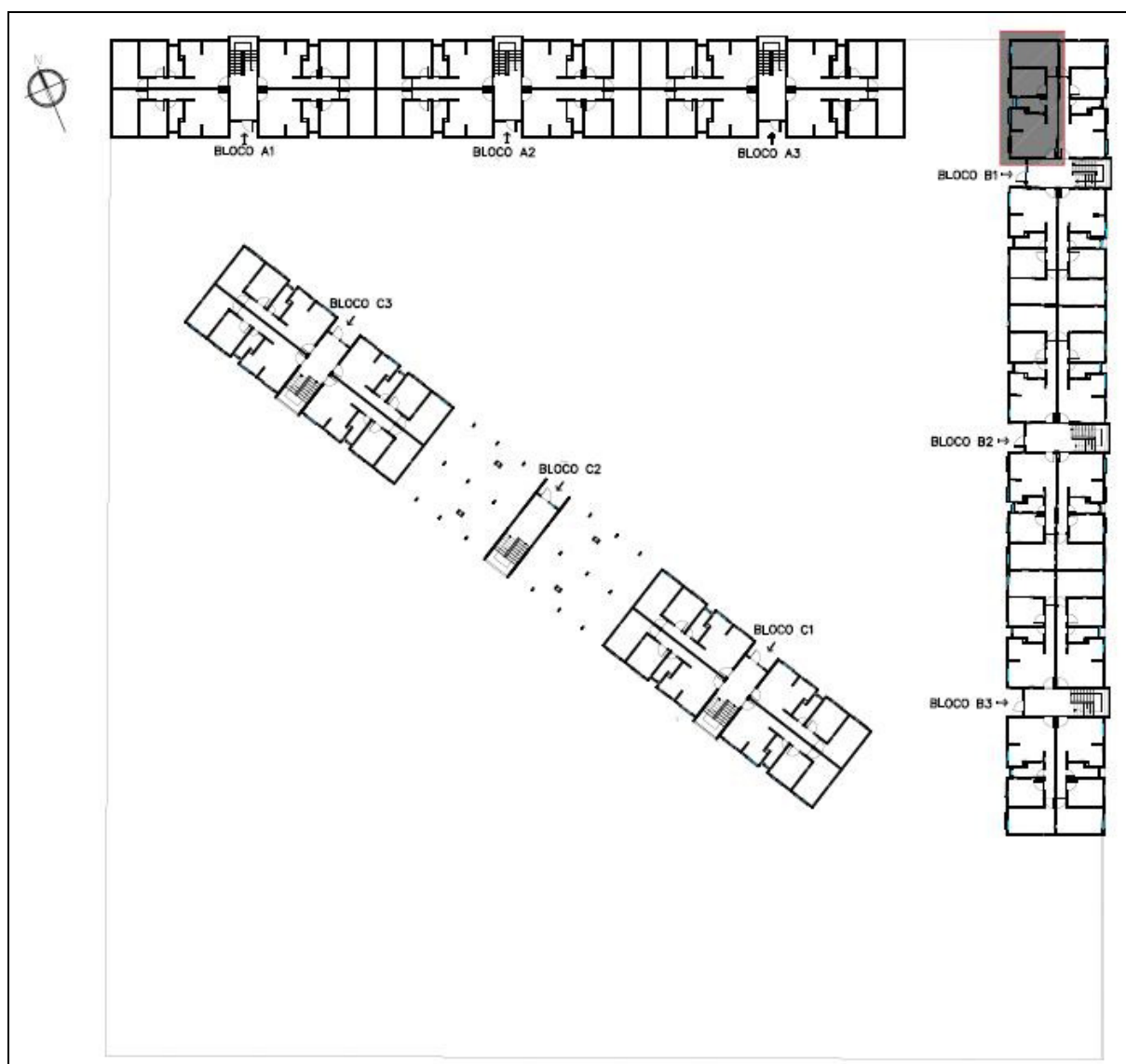


Figura 37 – Identificação do apartamento monitorado na implantação do PAR Porto.

A figura 38 apresenta a planta baixa do apartamento e indica a localização dos aparelhos de medição instalados. Todas as unidades habitacionais do conjunto apresentam as mesmas dimensões e disposição dos ambientes, cada unidade habitacional possui uma área útil de 37,49m².



Figura 38 – Planta-baixa do apartamento com a localização dos HOBOS instalados.

O edifício possui as paredes externas e internas em alvenaria de blocos cerâmicos, com dimensões de 14x19x39cm. As paredes possuem revestimento interno e externo em reboco com espessura de 2,5cm, a espessura da argamassa de assentamento é de 1cm. A espessura total da parede é de 19cm. A cobertura é de telhas de fibrocimento com laje pré-fabricada de concreto de 8cm de espessura.

A tabela 15 apresenta as propriedades térmicas calculadas para os elementos da edificação.

Tabela 15 – Propriedades térmicas dos componentes construtivos.

Componente	Transmitância térmica U [W/(m ² .K)]	Capacidade térmica CT [kJ/(m ² .K)]	Atraso térmico ϕ [horas]
Alvenaria externa	2,45	203	4,0
Alvenaria interna	2,45	203	4,0
Cobertura	2,11	187,17	4,8

As aberturas são todas em alumínio com sistema de abertura de correr nos dormitórios, mista de correr e basculante na sala e maxi-ar no banheiro e área de serviço. Apenas as janelas dos dormitórios possuem venezianas, as outras não possuem nenhum tipo de proteção que proporcione sombreamento.

Na tabela 16 são apresentadas as áreas de cada compartimento, e o percentual de área de ventilação efetiva em relação à área de piso.

Tabela 16 – Áreas compartimentos e área útil de ventilação.

Quadro áreas da unidade habitacional do PAR Porto		
Compartimento	Área útil compartimento	Área útil ventilação (% da área do piso)
Dormitório 1	9,65m ²	8,96%
Dormitório 2	7,25m ²	9,82%
Banheiro	2,55m ²	10,20%
Sala/cozinha/serviço	14,01m ²	10,60%
Circulação	4,03m ²	-
Área total	37,49m ²	-

Não foi possível realizar entrevista com os usuários e fotos dos ambientes monitorados pois, quando foi feita a retirada dos equipamentos os moradores antigos tinham se mudado. Por este motivo só foram consideradas as medições realizadas até o dia 28 de abril, data da mudança.

4.2.2. Avaliação prescritiva

Neste item são apresentadas as avaliações prescritivas, realizadas a partir das características construtivas e de projeto, com relação às diretrizes estabelecidas pelas NBR 15220 e NBR 15575.

4.2.2.1. NBR 15220

Aberturas

A norma estabelece, para a zona bioclimática 2, que a edificação deve possuir aberturas para ventilação médias, o que corresponde de 15% a 25% da área do piso.

Como a sala/cozinha/serviço possui uma área de ventilação de 10,60% em relação à área do piso, o dormitório de casal 8,96% e o segundo dormitório 9,82%, verifica-se que a unidade habitacional não possui a área mínima de ventilação prescrita.

Em relação ao sombreamento apenas os quartos atendem a diretriz da norma, pois apenas estes dois compartimentos possuem venezianas que proporcionam sombreamento no verão e permitem o sol durante o inverno.

Propriedades térmicas paredes

Através das características construtivas da edificação, constatou-se que as paredes externas da edificação possuem uma transmitância térmica de $2,45 \text{ W/m}^2$, portanto atende às diretrizes da norma que fixa como valor máximo $3,00 \text{ W/m}^2$.

O atraso térmico obtido para as paredes é de 4,0 horas, portanto atende às diretrizes da norma, que fixa como valor máximo 4,3 horas.

Propriedades térmicas da cobertura

Através das características construtivas da edificação, constatou-se que a cobertura possui uma transmitância térmica de $2,11 \text{ W/m}^2$, portanto não atende às diretrizes da norma, que fixa como valor máximo $2,0 \text{ W/m}^2$.

O atraso térmico obtido para a cobertura é de 4,8 horas, portanto não atende as exigências da norma, o valor ficou superior ao da norma que fixa como valor máximo 3,3 horas.

Estratégias de condicionamento térmico passivo

Em relação às estratégias de condicionamento térmico passivo a norma recomenda ventilação cruzada, aquecimento solar e vedações internas pesadas.

Para avaliação da estratégia de ventilação cruzada foi tomado como base as recomendações do RTQ-R que estabelece que a edificação deve possuir janelas em duas diferentes fachadas (opostas ou adjacentes) e orientações e atender à proporção da equação $A_2/A_1 \geq 0,25$ (onde A_1 é o somatório das áreas de ventilação localizadas na fachada da orientação com maior área de abertura e A_2 somatório das áreas efetivas de ventilação localizadas nas fachadas das demais orientações).

Visto que todas as aberturas do apartamento estão localizadas na mesma orientação o apartamento não atende ao uso da estratégia ventilação cruzada.

Em relação ao aquecimento solar, a posição do apartamento em relação à trajetória solar não favorece a incidência de sol durante o inverno nos compartimentos de permanência prolongada. Estes ambientes possuem as aberturas voltadas para o oeste, orientação esta que recebe radiação solar de 1582 W/m^2 por dia no solstício de inverno, o que representa 34% em relação ao norte que é a orientação que recebe mais radiação solar neste período, chegando a 4654 W/m^2 .

A estratégia de utilização de vedações internas pesadas não está de acordo com a norma, pois as alvenarias internas do edifício propiciam um atraso térmico de 4,0 horas e de acordo com a norma para uma parede ser considerada pesada teria que ter um atraso térmico maior do que 6,5 horas.

4.2.2.2. NBR 15575

Parte 4: Fachadas e paredes internas

Requisito – adequação de paredes externas

Através das características construtivas da edificação, constatou-se que as paredes externas da edificação possuem uma transmitância térmica de $2,45 \text{ W/m}^2$. A norma estabelece que o valor máximo admissível para a transmitância térmica, para a zona bioclimática 2, deve ser igual ou inferior a $2,5 \text{ W/m}^2$, portanto as paredes externas atendem as exigências na norma para o nível de desempenho mínimo em relação a transmitância térmica.

A capacidade térmica (CT) obtido para as paredes externas é de $203 \text{ KJ}/(\text{m}^2.\text{K})$. A norma estabelece que o valor mínimo admissível para a capacidade térmica, para a zona bioclimática 2, deve ser igual ou superior a $130 \text{ KJ}/(\text{m}^2.\text{K})$, portanto as paredes externas atendem às exigências na norma para o nível de desempenho mínimo em relação a capacidade térmica.

Requisito – ventilação dos ambientes internos à habitação

A norma estabelece, para a zona bioclimática 2, que a edificação deve possuir aberturas para ventilação interna dos ambientes de longa permanência, salas, cozinhas e dormitórios, com vãos que correspondam no mínimo 8% da área do piso.

O ambiente da sala/cozinha/serviço possui uma área de ventilação de 10,60% em relação à área do piso, o dormitório de casal 8,96% e o segundo dormitório 8,92%. Com base nestes dados observa-se que em relação à ventilação dos ambientes o conjunto habitacional atende a exigência da norma.

Requisito – sombreamento das aberturas localizadas em paredes externas

A norma estabelece que as janelas dos dormitórios, para qualquer região bioclimática, devem ter dispositivo de sombreamento. Neste requisito o projeto

atende as exigências da norma e possui o nível de desempenho mínimo exigido, pois os dormitórios possuem venezianas.

Parte 5: Coberturas

Requisito – isolamento térmica da cobertura

Através das características construtivas da edificação, constatou-se que a cobertura possui uma transmitância térmica de $2,11 \text{ W/m}^2$. A norma estabelece que o valor máximo admissível para a transmitância térmica, para a zona bioclimática 2, deve ser igual ou inferior a $2,30 \text{ W/m}^2$, portanto atende as exigências na norma para o nível de desempenho mínimo em relação a transmitância térmica.

4.2.3. Avaliação a partir dos dados obtidos nas medições

4.2.3.1. Comportamento térmico no verão

Em função do usuário, neste apartamento, não foi possível realizar medições no período de janeiro e de dezembro, sendo assim optou-se por analisar também as temperaturas do mês de março, que é o quarto mês mais quente do ano com temperaturas médias bem próximas as do mês de dezembro, conforme demonstrado no capítulo 3, tabelas 8 e 9.

Portanto para análise do período de verão do apartamento foram considerados os dados de 28 de janeiro de 2010 a 31 de março de 2010. Foram realizadas medições na sala e em um dos dormitórios do apartamento.

4.2.3.1.1. Temperatura do ar

A temperatura média do ar externo durante o período analisado foi de $24,27^\circ\text{C}$, enquanto que dentro do apartamento na sala a temperatura média foi de $27,75^\circ\text{C}$ e no dormitório $27,14^\circ\text{C}$.

O gráfico da figura 39 apresenta o comportamento médio da temperatura do ar, para o exterior e interior do apartamento durante o período analisado.

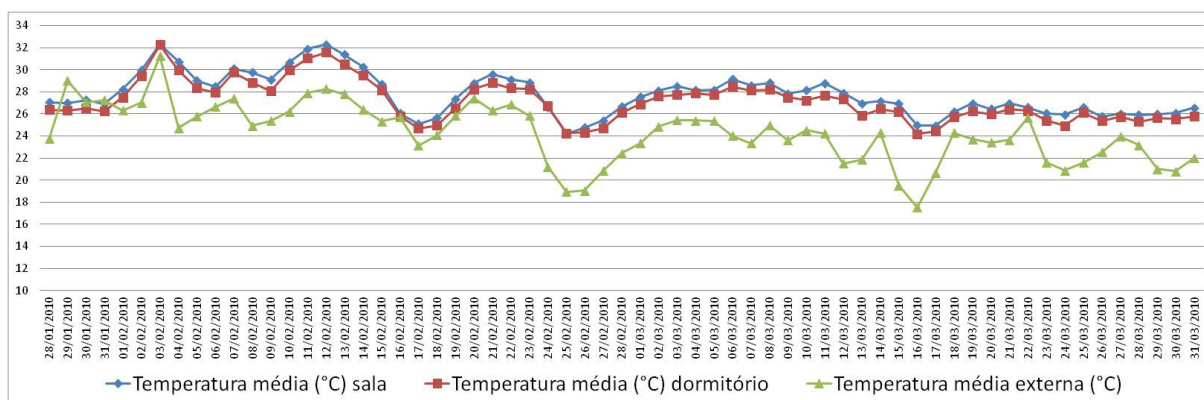


Figura 39 – Gráfico da variação das temperaturas médias diárias no período de 28 de janeiro a 31 de março de 2010.

Destaca-se no gráfico da figura 39, que em todo o período analisado as médias de temperatura interna no apartamento se mantiveram mais altas que as médias das temperaturas externas, com exceção dos dias 29, 30 e 31 de janeiro. Observa-se que a envoltória da edificação não conseguiu amortecer os efeitos das amplitudes externas, mantendo as temperaturas internas elevadas.

Semana com a maior média de temperatura

A sequência de sete dias com a maior média das máximas diárias ocorreu entre os dias 30 de janeiro e 5 de fevereiro. O gráfico da figura 40 permite a visualização da distribuição das temperaturas durante este intervalo.

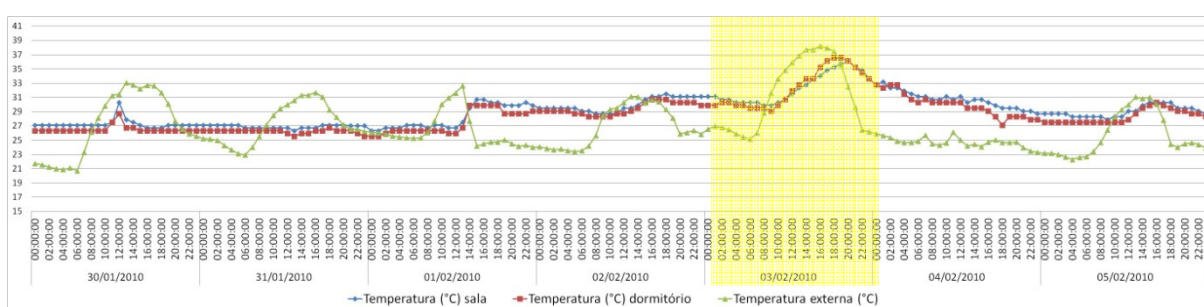


Figura 40 – Gráfico da variação da temperatura do ar durante a semana com a maior média de temperatura.

A média das máximas diárias de temperatura calculada para esta semana foi de 32°C. A temperatura externa máxima registrada foi de 38,22°C às 16hs do dia 3 de fevereiro. O valor máximo registrado no interior do apartamento foi de 36,13°C, na sala e ocorreu às 20hs do dia 3 de fevereiro. No dormitório a temperatura máxima foi de 36,57°C, também no dia 3 de fevereiro, às 18hs e 19hs.

A temperatura média do ar, no exterior foi de 27,06°C, enquanto que a média interna calculado foi de 29,21°C na sala e de 27,06°C no dormitório.

Durante a semana foram registradas variações de temperatura diária externa entre 2,83°C e 13,04°C, com uma média de 8,88°C. Já no interior a oscilação ficou entre 1,17°C e 7,47°C no dormitório, com uma amplitude média de 3,74°C, e entre 0,78°C e 6,23°C, com uma amplitude média de 3,52°C na sala.

Pode-se observar durante os primeiros dias da semana mais quente que a edificação proporcionou um grande amortecimento às oscilações externas de temperatura, permanecendo com a temperatura praticamente constante entre 26°C e 28°C, apesar da amplitude alcançar valores superiores a 10°C. A partir do dia 01/fev as mínimas externas foram sempre superiores a 24°C, impedindo o resfriamento da edificação à noite e conseqüentemente acumulando calor em sua estrutura. A situação crítica ocorre no dia 03 de fev quando, numa seqüência de noites quentes, a máxima temperatura externa alcança a casa dos 38°C, fazendo com que a temperatura interna acompanhe esta alta e se mantenha com temperatura mais elevada na seqüência dos dias.

Nestes casos, em que as noites são quentes, mesmo se houvesse ventilação natural, torna-se-ia muito difícil resfriar a edificação e retirar o calor armazenado na sua estrutura. A ventilação na altura do corpo, durante a noite, é a única forma de propiciar conforto passivo aos usuários. Para tal faz-se necessário ventilação cruzada ou por diferença de altura, aberturas adequadas e dispositivos que permitam a ventilação sem prejudicar a segurança, bloqueio a luz e ingresso de insetos.

Dia com a maior média de temperatura

O dia com maior média de temperatura durante o período foi o dia 3 de fevereiro, onde a média calculada foi de 32,32°C na sala do apartamento, 32,26°C no dormitório e de 31,27°C no exterior do apartamento.

O valor máximo de temperatura externa registrado durante o dia ocorreu às 16hs, chegando ao limite de 38,22°C. Verificou-se um atraso térmico de uma hora, em relação ao valor máximo registrado no dormitório do apartamento e de três horas na sala. O valor máximo de temperatura no interior do apartamento foi de 36,57°C e ocorreu no dormitório, já na sala a temperatura máxima registrada foi de 36,13°C.

Verifica-se no gráfico da figura 41, que a partir das 19hs a temperatura externa apresenta valores inferiores à temperatura interna, sendo assim o horário ideal para que fosse utilizada a estratégia de ventilação natural para resfriamento da edificação.

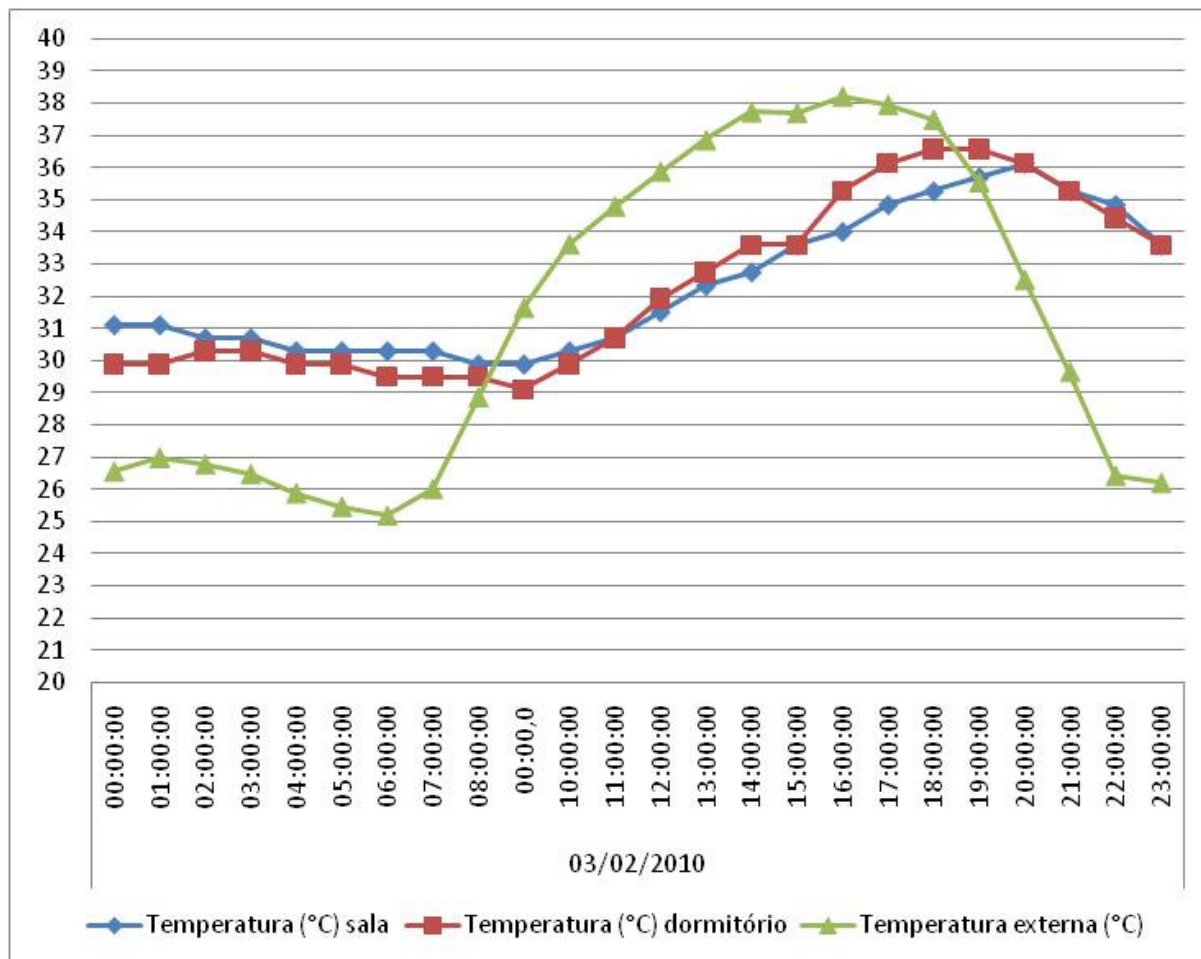


Figura 41 – Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a maior média de temperatura.

Maior amplitude térmica e o amortecimento proporcionado pela construção

A maior amplitude diária, durante o período de verão analisado, ocorreu no dia 24 de março com uma variação de 15,01 °C em 8 horas.

Os valores externos variaram de 13,60 °C à 28,61 °C, enquanto que no interior do apartamento a temperatura máxima foi de 28,31 °C na sala e de 27,12 °C no dormitório, a temperatura mínima foi de 23,63 °C na sala e de 22,86 °C no dormitório.

O amortecimento térmico médio verificado foi de 0,3 °C para as máximas e de 9,26 °C para as mínimas.

O atraso térmico para as máximas foi de quatro horas no dormitório e de cinco horas na sala. Já para as mínimas o atraso térmico foi de duas horas na sala e de três horas no dormitório.

O gráfico da figura 42 demonstra a variação da temperatura do ar no exterior e no interior do apartamento durante o dia.

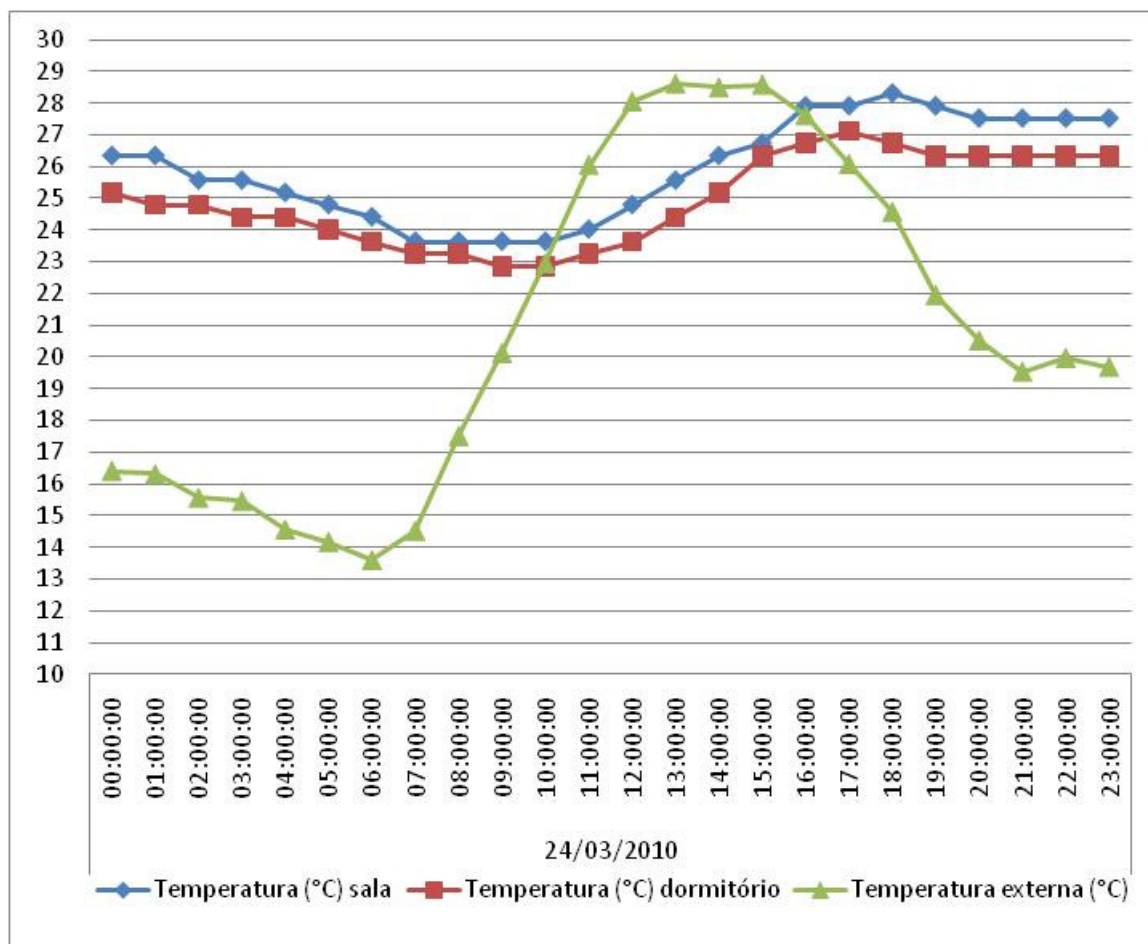


Figura 42 – Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a maior amplitude térmica.

4.2.3.1.2. Graus-hora e grau-médio

A tabela 17 apresenta o somatório de graus-hora, o número de horas com temperatura fora dos limites das temperaturas-base e o grau-médio calculado, para o período de verão.

Tabela 17 – Somatório graus-hora para refrigeração.

Temperatura base	Temperatura interna			Temperatura externa		
	Graus-hora	n° de horas	Grau-médio	Graus-hora	n° de horas	Grau-médio
29°C	601,24	435	1,38	382,42	195	1,96

Em um total de 1512 horas, observa-se que, no interior do apartamento, ocorreram 435 horas acima da temperatura-base de 29°C, as quais geraram um somatório de 601,24 graus-hora e um grau-médio de 1,38, enquanto que externamente foram 195 horas, com um somatório de graus-hora de 382,42 e um grau-médio de 1,96.

Na tabela 18 observa-se que mesmo o período analisado sendo de verão, 108 horas ficaram abaixo da temperatura-base de 18°C nos registros de temperatura do exterior, já internamente isso não houve nenhum registro abaixo de 18°.

Tabela 18 - Somatório de graus-hora para aquecimento.

Temperatura base	Temperatura interna			Temperatura externa		
	Graus-hora	n° de horas	Grau-médio	Graus-hora	n° de horas	Grau-médio
18°C	-	-	-	62,28	108	0,58

4.2.3.1.3. Carta bioclimática

As cartas bioclimáticas foram plotadas com os dados horários de temperatura e umidade relativa do ar, medidos no ambiente da sala e no exterior do apartamento.

Através da carta bioclimática apresentada na figura 43 é possível observar a distribuição dos valores de temperatura e umidade relativa durante o período de verão.

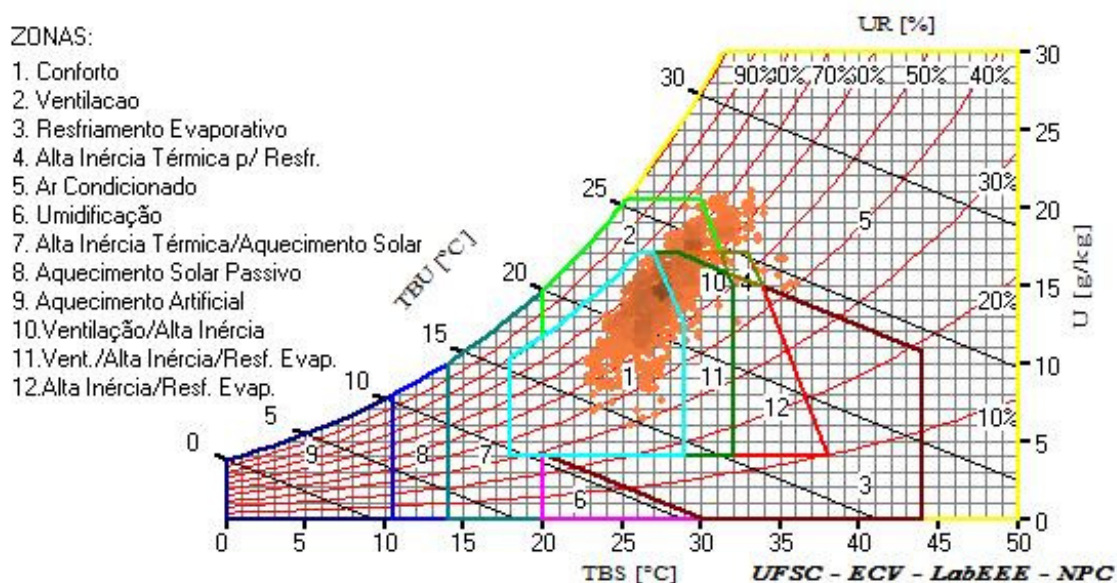


Figura 43 – Carta bioclimática com os dados da sala no período de 28 de janeiro a 31 de março de 2010.

Em um total de 1512 horas monitoradas, 56,70% das horas estão dentro da zona de conforto, o que representa um universo de 857 horas.

A figura 44 apresenta os dados das temperaturas externas no mesmo período.

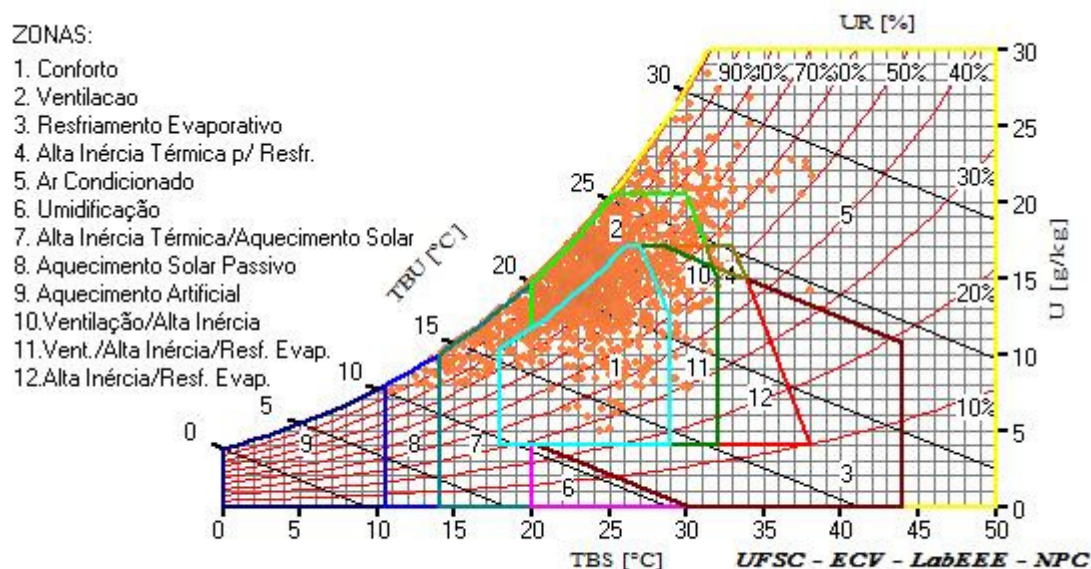


Figura 44 – Carta bioclimática com os dados externos no período de 28 de janeiro a 31 de março de 2010.

Para as condições externas, 32,10% das horas estão dentro da zona de conforto, e 67,6% em desconforto, sendo 11,9% de desconforto por frio e 55,7% desconforto por calor. Pode-se verificar que houve melhora das condições de conforto no interior do apartamento em relação ao ambiente externo.

4.2.3.1.4. NBR 15575

O gráfico da figura 45 demonstra a variação da temperatura do ar no interior e no exterior do apartamento no dia típico de verão, nos dias que o precederam e no dia que o sucedeu.

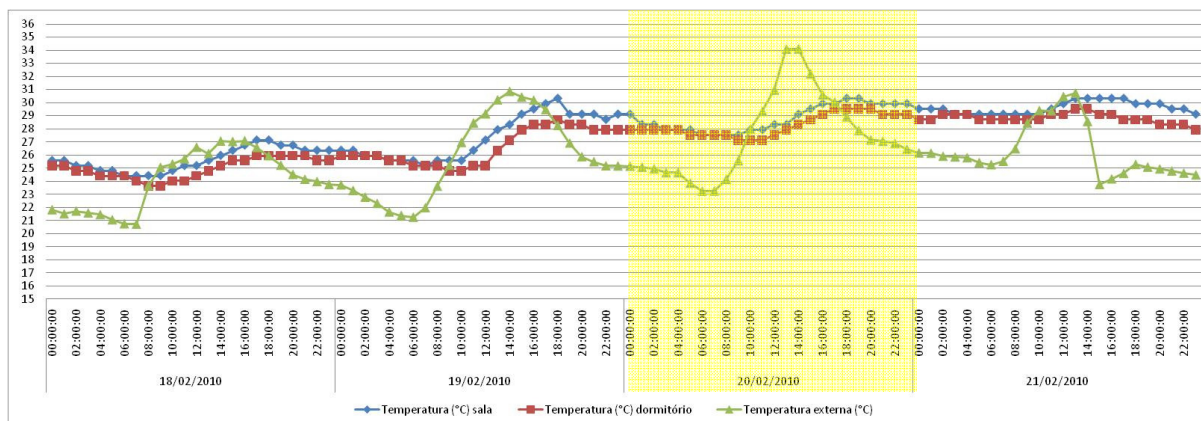


Figura 45 – Gráfico da variação da temperatura do ar na seqüência de dias que engloba o dia típico de verão.

A norma estabelece que para desempenho mínimo o valor máximo diário da temperatura do ar no interior dos ambientes de permanência prolongada seja menor que o valor máximo diário da temperatura do ar exterior. A temperatura máxima registrada no interior do apartamento foi de 30,31°C na sala e de 29,5°C no dormitório enquanto que a temperatura máxima do ar no exterior foi de 34,10°C, portanto atende ao critério de desempenho mínimo da NBR 15575. Entretanto, fazendo a análise para atendimento do desempenho intermediário o apartamento não atende ao critério, pois a temperatura do ar teria que ter se mantido abaixo dos 29°C.

4.3. PAR Solar das Palmeiras

4.3.1. Características construtivas

O conjunto habitacional Solar das Palmeiras possui 300 unidades habitacionais, distribuídas em quatro blocos de cinco pavimentos que possuem tipologia em fita. A figura 46 mostra a inserção do conjunto na malha urbana da cidade e o seu entorno. As figuras 47, 48 e 49 mostram vistas gerais do PAR Solar das Palmeiras.



Figura 46 – Inserção do PAR Solar das Palmeiras na malha urbana da cidade.
Fonte: Google Earth.



Figura 47– Foto PAR Solar das Palmeiras.



Figura 48 – Foto PAR Solar das Palmeiras.



Figura 49 – Foto PAR Solar das Palmeiras.

No PAR Solar das Palmeiras foi possível monitorar dois apartamentos, um com as características recomendadas pela NBR 15575 para as condições de verão e outro para as condições de inverno.

O apartamento para as condições de inverno está localizado no último pavimento, possui paredes externas com orientação leste, sul, oeste e norte, as janelas da sala e dos dormitórios estão voltadas para o leste, a janela da área de serviço está voltada para o sul, a janela do banheiro está voltada para o oeste e a parede voltada para o norte não possui aberturas.

O apartamento para as condições de verão está localizado no último pavimento, possui paredes externas com orientação oeste, norte, leste e sul, as janelas da sala e dos dormitórios estão voltadas para o oeste e, a janela da área de serviço está voltada para o norte, a janela do banheiro está voltada para o leste e a parede voltada para o sul não possui aberturas.

A figura 50 indica a localização dos apartamentos na implantação do PAR Solar das Palmeiras.

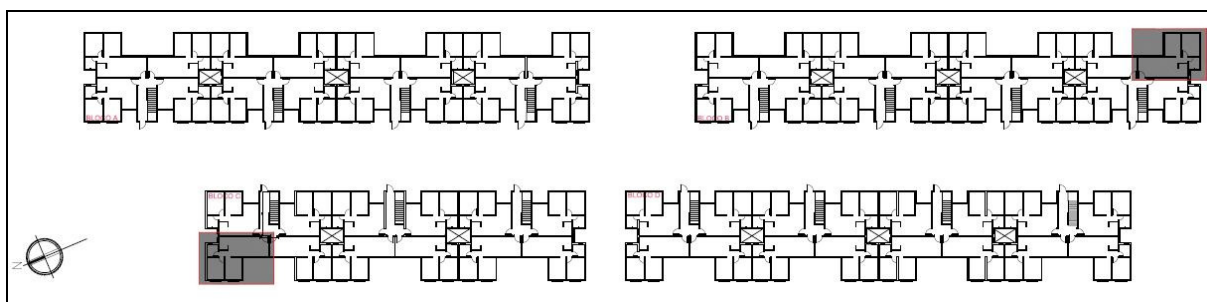


Figura 50 – Identificação do apartamento monitorado na implantação do PAR Solar das Palmeiras.

O edifício possui dois tipos de unidades habitacionais que se diferenciam apenas pelo formato da sala. As figuras 51 e 52 apresentam as plantas baixa dos apartamentos monitorados e indica a localização dos aparelhos de medição instalados. Cada unidade habitacional possui uma área útil de 34,45m².

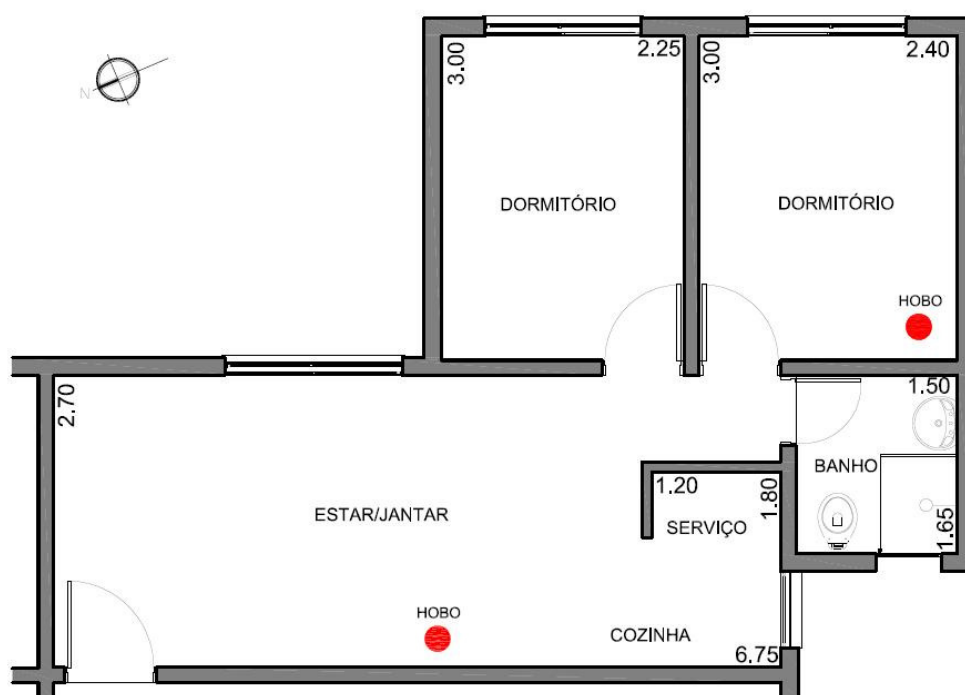


Figura 51 – Planta-baixa do apartamento com condições de inverno, com a localização dos HOBO instalados.



Figura 52 – Planta-baixa do apartamento com condições de verão, com a localização dos HOBO instalados.

O edifício possui as paredes externas em alvenaria de blocos cerâmicos com dimensões de 14x19x29cm. As paredes possuem revestimento externo em reboco com espessura de 2,5cm, internamente os blocos receberam apenas pintura, a espessura da argamassa de assentamento é de 1cm. A espessura total da parede é de 16,5cm. As paredes internas são de alvenaria de blocos cerâmicos com dimensões de 14x19x29cm. As paredes não possuem revestimento, os blocos receberam apenas pintura, a espessura da argamassa de assentamento é de 1cm. A espessura total da parede é de 14cm. A cobertura é de telhas de fibrocimento com laje pré-fabricada de concreto de 8cm de espessura.

A tabela 19 apresenta as propriedades térmicas calculadas para os elementos da edificação.

Tabela 19 – Propriedades térmicas dos componentes construtivos.

Componente	Transmitância térmica U [W/(m ² .K)]	Capacidade térmica CT [kJ/(m ² .K)]	Atraso térmico ϕ [horas]
Alvenaria externa	2,59	153	3,18
Alvenaria interna	2,76	103	2,56
Cobertura	2,11	187,17	4,8

As aberturas são todas em alumínio com sistema de abertura de correr nos dormitórios e sala, maxi-ar no banho e de abrir na área de serviço. As janelas não possuem nenhum tipo de proteção que proporcione sombreamento.

Na tabela 20 são apresentadas as áreas de cada compartimento, e o percentual de área de ventilação efetiva em relação à área de piso.

Tabela 20 – Áreas compartimentos e área útil de ventilação.

Quadro áreas da unidade habitacional do PAR Solar das Palmeiras		
Compartimento	Área útil compartimento	Área útil ventilação (% da área do piso)
Dormitório 1	7,20m ²	9,71%
Dormitório 2	6,75m ²	9,78%
Banho	2,47m ²	14,06%
Sala/cozinha/serviço	16,97m ²	11,18%
Circulação	1,06m ²	-
Área total	34,45m ²	-

Na entrevista realizada com os moradores dos apartamentos foram identificadas as seguintes rotinas de ocupação e uso.

O apartamento, com as condições de inverno, durante a semana permanece sempre vazio durante o dia e ocupado à noite. Nos finais de semana, normalmente o apartamento permanece ocupado durante o dia e a noite. Em relação a ventilação dos ambientes, a moradora relatou que costuma abrir as janelas diariamente, tanto em dias quentes como em dias frios. Já em relação ao uso de aquecedor no inverno a moradora afirmou que possui o costume de utilizar mas apenas no ambiente da sala. Por fim foi verificado que não são utilizadas cortinas nas janelas.

As figuras 53 e 54 apresentam a sala e o dormitório do apartamento com condições de inverno analisado.



Figura 53 – Foto ambiente monitorado no apartamento com condições de inverno – sala.



Figura 54– Foto ambiente monitorado no apartamento com condições de inverno – dormitório.

O apartamento, com as condições de verão, não apresenta uma rotina de ocupação constante, durante a semana permanece em alguns dias vazio e em outros ocupados tanto durante o dia quanto à noite, nos finais de semana, normalmente o apartamento permanece vazio durante o dia e a noite. Em relação a ventilação dos ambientes, a moradora relatou que costuma abrir as janelas diariamente, tanto em dias quentes como em dias frios. Já em relação ao uso de aquecedor no inverno a moradora afirmou que utiliza esporadicamente, apenas em dias muito frios. Por fim foi verificado que são utilizadas cortinas tipo persianas verticais em ambas as janelas.

As figuras 55 e 56 apresentam a sala e o dormitório do apartamento analisado.



Figura 55 – Foto ambiente monitorado no apartamento com condições de verão – sala.



Figura 56 – Foto ambiente monitorado no apartamento com condições de verão – dormitório.

4.3.2. Avaliação prescritiva

Neste item são apresentadas as avaliações prescritivas, realizadas a partir das características construtivas e de projeto, com relação às diretrizes estabelecidas pelas NBR 15220 e NBR 15575.

4.3.2.1. NBR 15220

Aberturas

A norma estabelece, para a zona bioclimática 2, que a edificação deve possuir aberturas para ventilação médias, o que corresponde de 15% a 25% da área do piso.

Como a sala/cozinha/serviço possui uma área de ventilação de 11,18% em relação à área do piso, o dormitório de casal 9,17 % e o segundo dormitório 9,78%, verifica-se que a unidade habitacional não possui a área mínima de ventilação prescrita.

Em relação ao sombreamento as aberturas não atendem as diretrizes da norma, pois não possuem nenhum tipo de proteção que proporcione sombreamento no verão e permitem o sol durante o inverno.

Propriedades térmicas paredes

Através das características construtivas da edificação, constatou-se que as paredes externas da edificação possuem uma transmitância térmica de 2,59 W/m², portanto atende às diretrizes da norma que fixa como valor máximo 3,00 W/m².

O atraso térmico obtido para as paredes é de 3,18 horas, portanto atende às diretrizes da norma, que fixa como valor máximo 4,3 horas.

Propriedades térmicas da cobertura

Através das características construtivas da edificação, constatou-se que a cobertura possui uma transmitância térmica de 2,11 W/m², portanto não atende às diretrizes da norma, que fixa como valor máximo 2,0 W/m².

O atraso térmico obtido para as paredes é de 4,80 horas, portanto não atende às diretrizes da norma, o valor ficou superior ao da norma que fixa como valor máximo 3,3 horas.

Estratégias de condicionamento térmico passivo

Em relação às estratégias de condicionamento térmico passivo a norma recomenda ventilação cruzada, aquecimento solar e vedações internas pesadas.

Para avaliação da estratégia de ventilação cruzada foi tomado como base as recomendações do RTQ-R que estabelece que a edificação deve possuir janelas em duas diferentes fachadas (opostas ou adjacentes) e orientações e atender à proporção da equação $A_2/A_1 \geq 0,25$ (onde A_1 é o somatório das áreas de ventilação localizadas na fachada da orientação com maior área de abertura e A_2 somatório das áreas efetivas de ventilação localizadas nas fachadas das demais orientações).

Sendo $A_1=2,44\text{m}^2$ e $A_2=1,13\text{m}^2$, temos $1,13/2,44 = 0,44$, portanto atende ao uso da estratégia ventilação cruzada.

Em relação ao aquecimento solar vamos analisar separadamente cada um dos apartamentos, pois possuem orientações solares diferentes.

A posição do apartamento para condições de inverno, em relação à trajetória solar não favorece a incidência de sol durante o inverno nos compartimentos de permanência prolongada. Estes ambientes possuem as aberturas voltadas para o leste, orientação esta que recebe radiação solar de apenas 1582 W/m^2 por dia no solstício de inverno, o que representa apenas 34% em relação ao norte que é a orientação que recebe mais radiação solar neste período, chegando a 4654 W/m^2 .

A posição do apartamento para as condições de verão, em relação à trajetória solar também não favorece a incidência de sol durante o inverno nos compartimentos de permanência prolongada. Estes ambientes possuem as aberturas voltadas para o oeste, orientação esta que recebe radiação solar de 1582 W/m^2 no solstício de inverno, o que representa 34% em relação ao norte que é a orientação que recebe mais radiação solar neste período, chegando a 4654 W/m^2 .

Cabe enfatizar que em ambos os apartamentos, um dos dormitórios poderia ter abertura voltada para o norte, o que mais que duplicaria a exposição a radiação solar do inverno e, conseqüentemente, melhora muito as condições de conforto, sem qualquer impacto nos custos da edificação.

A estratégia de utilização de vedações internas pesadas não está de acordo com a norma, pois as alvenarias internas do edifício propiciam um atraso térmico de 2,56 horas e de acordo com a norma para uma parede ser considerada pesada teria que ter um atraso térmico maior do que 6,5 horas.

4.3.2.2. NBR 15575

Parte 4: Fachadas e paredes internas

Requisito – adequação de paredes externas

Através das características construtivas da edificação, constatou-se que as paredes externas da edificação possuem uma transmitância térmica de $2,59 \text{ W/m}^2$. A norma estabelece que o valor máximo admissível para a transmitância térmica, para a zona bioclimática 2, deve ser igual ou inferior a $2,5 \text{ W/m}^2$, portanto as paredes externas não atendem às exigências na norma para o nível de desempenho mínimo em relação a transmitância térmica.

A capacidade térmica (CT) obtido para as paredes externas é de $153 \text{ KJ/(m}^2\text{.K)}$. A norma estabelece que o valor mínimo admissível para a capacidade térmica, para a zona bioclimática 2, deve ser igual ou superior a $130 \text{ KJ/(m}^2\text{.K)}$, portanto as paredes externas atendem às exigências na norma para o nível de desempenho mínimo em relação a capacidade térmica.

Requisito – ventilação dos ambientes internos à habitação

A norma estabelece, para a zona bioclimática 2, que a edificação deve possuir aberturas para ventilação interna dos ambientes de longa permanência, salas, cozinhas e dormitórios, com vãos que correspondam no mínimo 8% da área do piso.

O ambiente da sala/cozinha/serviço possui uma área de ventilação de 11,18% em relação à área do piso, o dormitório de casal 9,17 % e o segundo dormitório 9,78%. Com base nestes dados observa-se que em relação à ventilação dos ambientes o conjunto habitacional atende à exigência da norma.

Requisito – sombreamento das aberturas localizadas em paredes externas

A norma estabelece que as janelas dos dormitórios, para qualquer região bioclimática, devem ter dispositivo de sombreamento. Neste requisito o projeto não atende às exigências da norma, pois os dormitórios não possuem nenhum tipo de proteção que proporcione sombreamento.

Parte 5: Coberturas

Requisito – isolamento térmica da cobertura

Através das características construtivas da edificação, constatou-se que a cobertura possui uma transmitância térmica de $2,11 \text{ W/m}^2$. A norma estabelece que o valor máximo admissível para a transmitância térmica, para a zona bioclimática 2, deve ser igual ou inferior a $2,30 \text{ W/m}^2$, portanto atende às exigências da norma para o nível de desempenho mínimo em relação a transmitância térmica.

4.3.3. Avaliação a partir dos dados obtidos nas medições

4.3.3.1. Comportamento térmico no verão – apartamento com quesitos de inverno.

O período de medição no apartamento foi de 12 de janeiro de 2010 à 05 de janeiro de 2011. Para análise do período de verão foram considerados os dados de 12 de janeiro à 28 de fevereiro de 2010 e de 01 de dezembro de 2010 à 05 de janeiro de 2011. As temperaturas internas consideradas são apenas dos dados coletados na sala, pois o equipamento do dormitório apresentou problemas e não temos os dados a partir do dia 26 de junho de 2010.

4.3.3.1.1. Temperatura do ar

A temperatura média do ar externo durante o período analisado foi de $24,50^\circ\text{C}$, enquanto que dentro do apartamento a temperatura média foi de $27,10^\circ\text{C}$. O gráfico abaixo apresenta o comportamento médio da temperatura do ar, no exterior e no interior do apartamento durante o período analisado.

Destaca-se nos gráficos das figuras 57 e 58, que praticamente em todo período, com exceção do dia 17 de fevereiro as médias das temperaturas internas do apartamento se mantiveram mais altas que as médias das temperaturas externas. Observa-se que a envoltória da edificação não conseguiu amortecer os efeitos das amplitudes externas, mantendo as temperaturas internas elevadas.

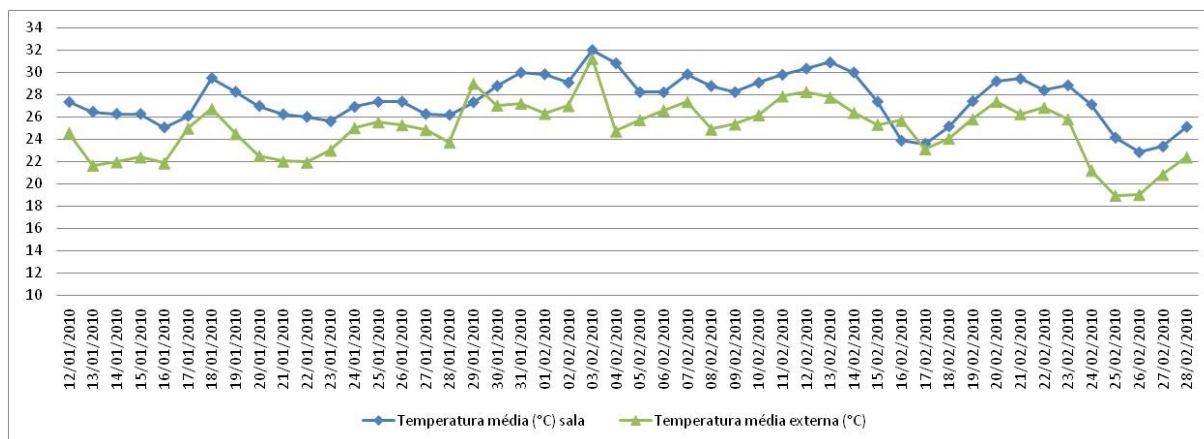


Figura 57 – Gráfico da variação das temperaturas médias diárias no período de 12 de janeiro a 28 de fevereiro de 2010.

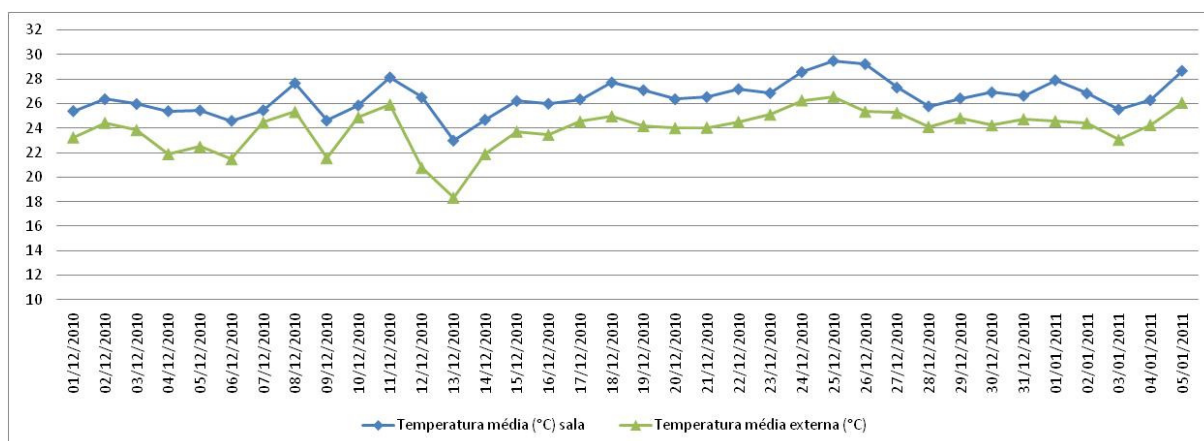


Figura 58 – Gráfico da variação das temperaturas médias diárias no período de 01 de dezembro de 2010 a 05 de janeiro de 2011.

Semana com a maior média de temperatura

A sequência de sete dias com a maior média das máximas diárias ocorreu entre os dias 30 de janeiro e 5 de fevereiro. O gráfico da figura 59 permite a visualização da distribuição das temperaturas durante este período.

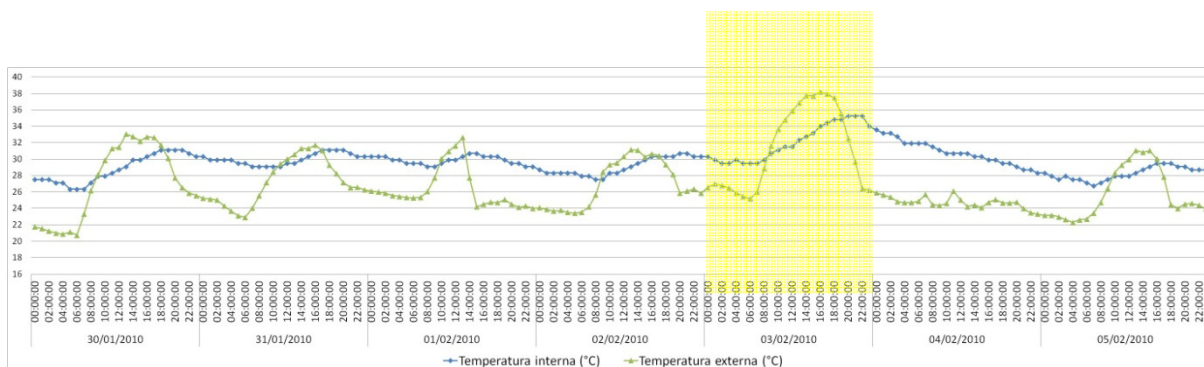


Figura 59 – Gráfico da variação da temperatura do ar durante a semana com a maior média de temperatura.

A média das máximas diárias de temperatura calculada para esta semana foi de 31,72°C. A temperatura externa máxima registrada foi de 38,22°C às 16hs do dia 3 de fevereiro. O valor máximo registrado no interior do apartamento foi de 35,27°C e se repetiu em três ocasiões, às 20, 21 e 22hs do dia 3 de fevereiro.

A temperatura média do ar no exterior foi de 27,06°C, enquanto a média interna foi de 29,84°C.

Durante a semana foram registradas variações de temperatura diária externa entre 2,83°C e 13,04°C, com uma média de 8,88°C. Já no interior do apartamento a oscilação da temperatura ficou entre 1,61°C e 5,77°C, com uma amplitude média de 3,63°C.

Dia com a maior média de temperatura

O dia com a maior média de temperatura durante o período de verão foi o dia 3 de fevereiro, onde a média calculada foi de 32,03°C no interior do apartamento e de 31,27°C no exterior do apartamento.

O valor máximo de temperatura externa registrado durante o dia ocorreu às 16hs, chegando ao extremo de 38,22°C. Verificou-se um atraso térmico de quatro horas em relação ao valor máximo registrado no interior do apartamento que foi de 35,27°C e ocorreu às 20, 21 e 22hs.

Verifica-se no gráfico da figura 60, que a partir das 19hs a temperatura externa começa a apresentar valores inferiores a temperatura interna, sendo assim este o horário ideal para que fosse utilizada a estratégia de ventilação natural para resfriamento da edificação.

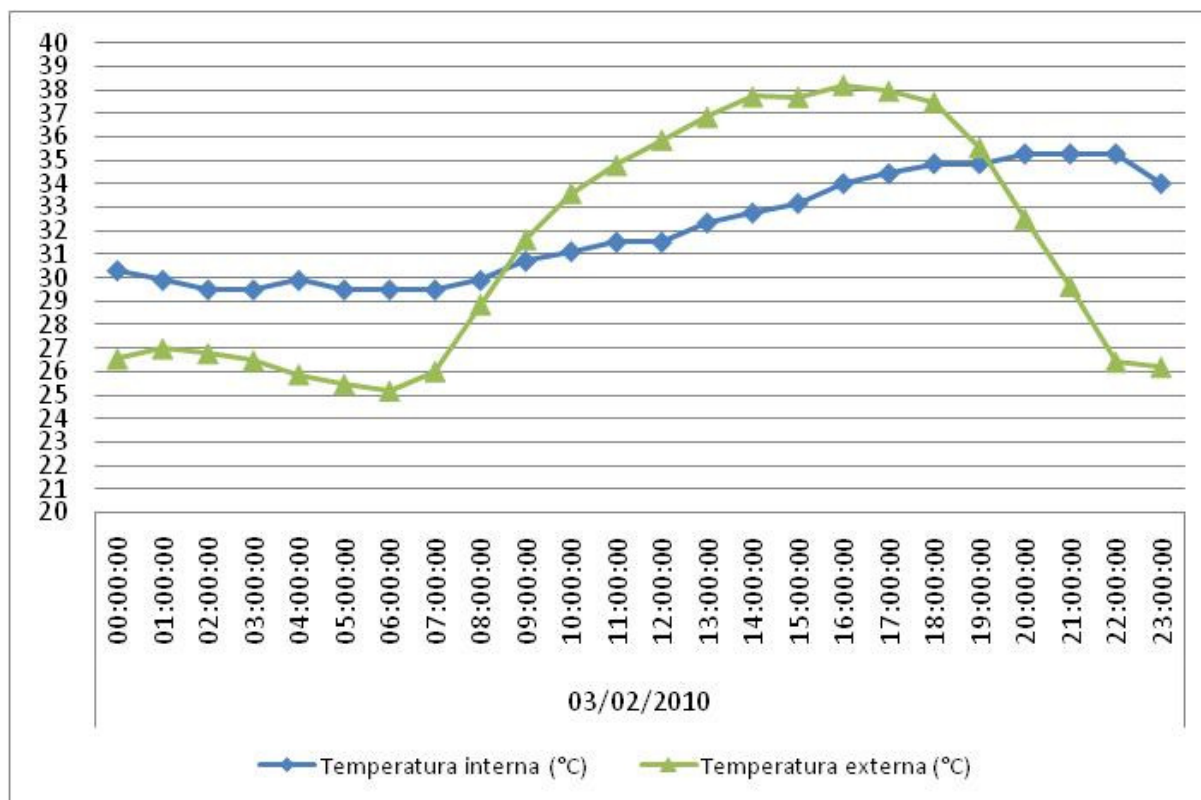


Figura 60 – Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a maior média de temperatura.

Maior amplitude térmica e o amortecimento proporcionado pela construção

A maior amplitude diária, durante o período de verão analisado, ocorreu no dia 14 de dezembro com uma variação de 14,57°C em sete horas.

Os valores externos variaram de 15,23°C a 29,9°C, enquanto que no interior do apartamento a temperatura máxima foi de 27,52°C e a mínima de 20,95°C.

O amortecimento térmico médio verificado foi de 2,38°C para as máximas e de 5,72°C para as mínimas.

O atraso térmico para as máximas foi de sete horas, já para as mínimas foi de uma hora.

O gráfico da figura 61 demonstra a variação da temperatura do ar no exterior e no interior do apartamento.

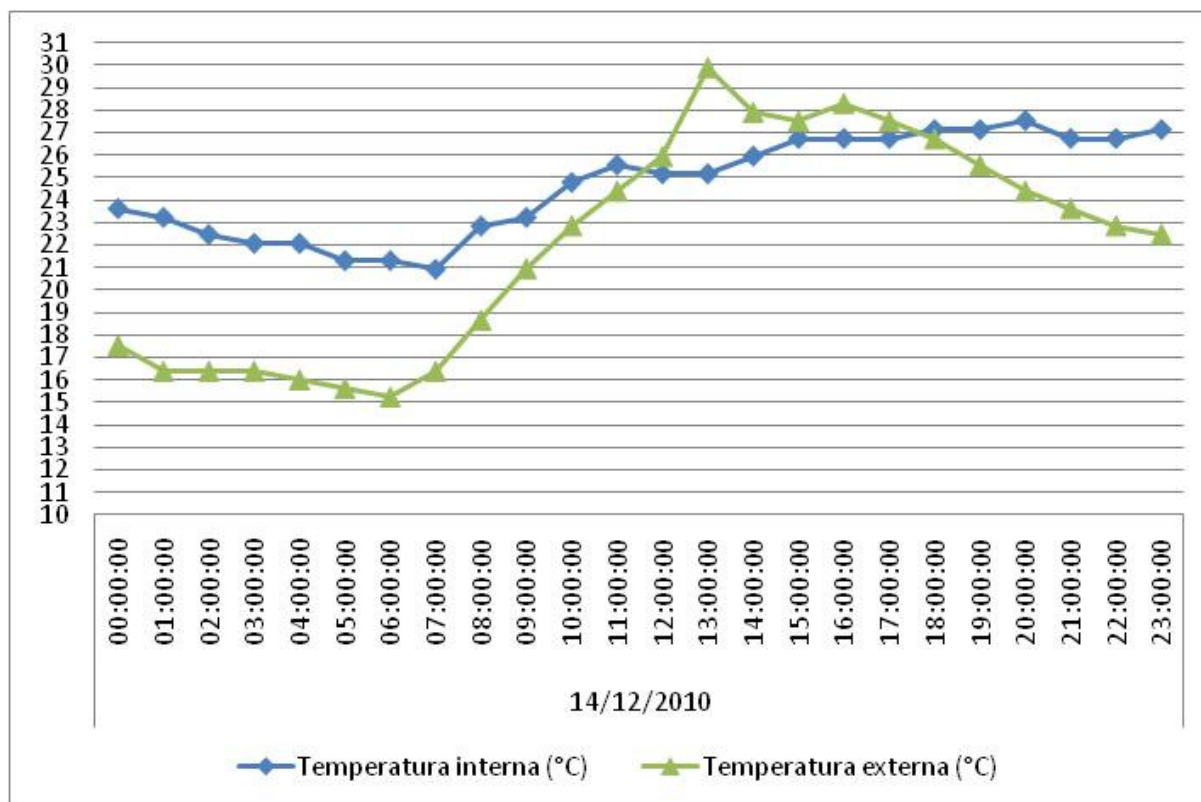


Figura 61 – Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a maior amplitude térmica.

4.3.3.1.2.

Graus-hora e grau-médio

A tabela 21 apresenta o somatório de graus-hora, o número de horas com temperatura fora dos limites das temperaturas-base e o grau-médio calculado, para o período de verão.

Tabela 21 – Somatório graus-hora para refrigeração.

Temperatura base	Temperatura interna			Temperatura externa		
	Graus-hora	n° de horas	Grau-médio	Graus-hora	n° de horas	Grau-médio
29°C	518,91	425	1,22	499,78	238	2,10

Em um total de 2016 horas observa-se que, no interior do apartamento, ocorreram 425 horas acima da temperatura base de 29°C, as quais geraram um somatório de 518,91 graus-hora e um grau-médio de 1,22, enquanto que externamente foram 238 horas, com um somatório de graus-hora de 499,78 e um grau-médio de 2,10.

Mais uma vez observa-se que a edificação ameniza a intensidade do calor externo, mas mantém-se mais tempo acima do limites de temperatura, não se beneficiando das condições externas, quando estas são favoráveis.

Na tabela 22 observa-se que mesmo o período analisado sendo de verão, 112 horas ficaram abaixo da temperatura-base de 18°C nos registros de temperaturas externas. Já no interior do apartamento não houve nenhum registro acima de 18°C.

Tabela 22 – somatório graus-hora para aquecimento.

Temperatura base	Temperatura interna			Temperatura externa		
	Graus-hora	n° de horas	Grau-médio	Graus-hora	n° de horas	Grau-médio
18°C	-	-	-	34,78	112	0,31

4.3.3.1.3. Carta bioclimática

As cartas bioclimáticas foram plotadas com os dados horários de temperatura e umidade relativa do ar, no ambiente da sala e no exterior do apartamento.

Através da carta bioclimática apresentada na figura 62 é possível observar a distribuição dos valores de temperatura e umidade relativa durante o período de verão.

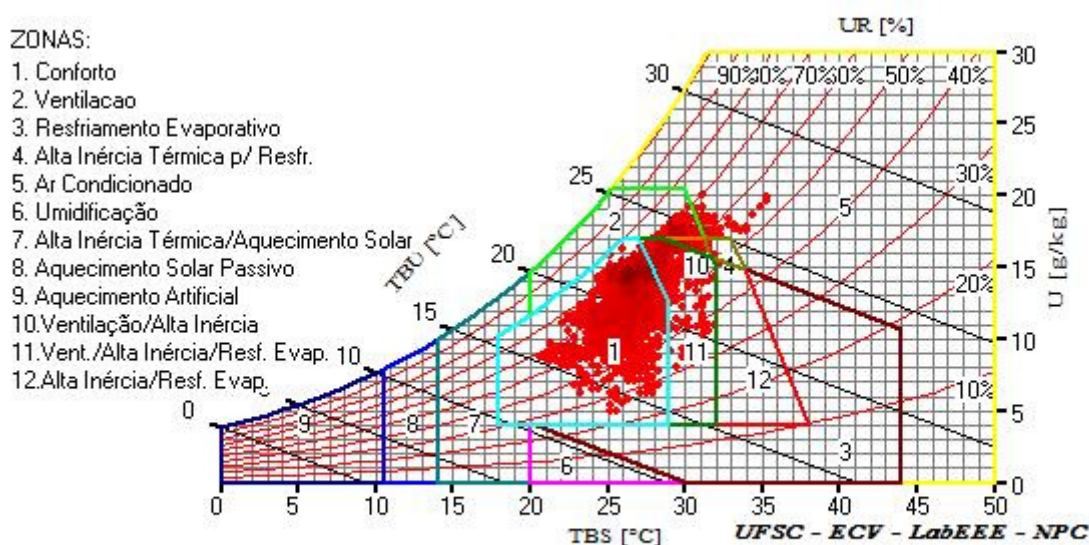


Figura 62 – Carta bioclimática com os dados da sala no período de 12 de janeiro a 28 de fevereiro de 2010 e de 01 de dezembro de 2010 a 05 de janeiro de 2011.

Em um total de 2016 horas monitoradas, 68,40% das horas estão dentro da zona de conforto, o que representa um universo de 1379 horas.

A figura 63 apresenta os dados das temperaturas externas no mesmo período.

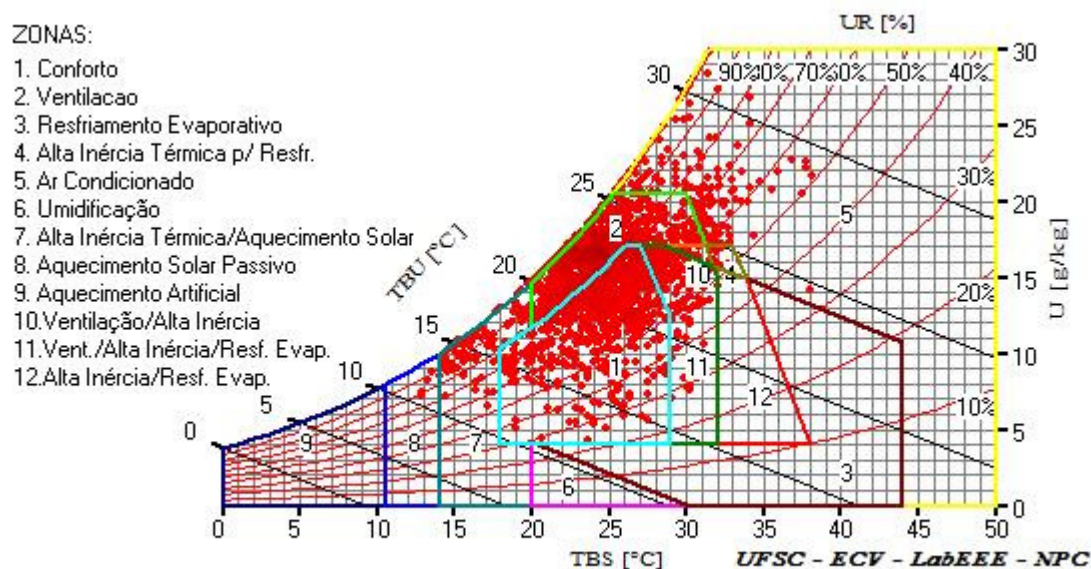


Figura 63 – Carta bioclimática com os dados externos no período de 12 de janeiro a 28 de fevereiro de 2010 e de 01 de dezembro de 2010 a 05 de janeiro de 2011.

Para as condições externas, 35,47% das horas estão dentro da zona de conforto, e 64,53% em desconforto, sendo 4,69% de desconforto por frio e 59,57% desconforto por calor. Pode-se verificar que houve melhora das condições de conforto no interior do apartamento em relação ao ambiente externo.

4.3.3.1.4. NBR 15575

O gráfico da figura 64 demonstra a variação da temperatura do ar no interior e no exterior do apartamento no dia típico de verão, nos dias que o precederam e no dia que o sucedeu.

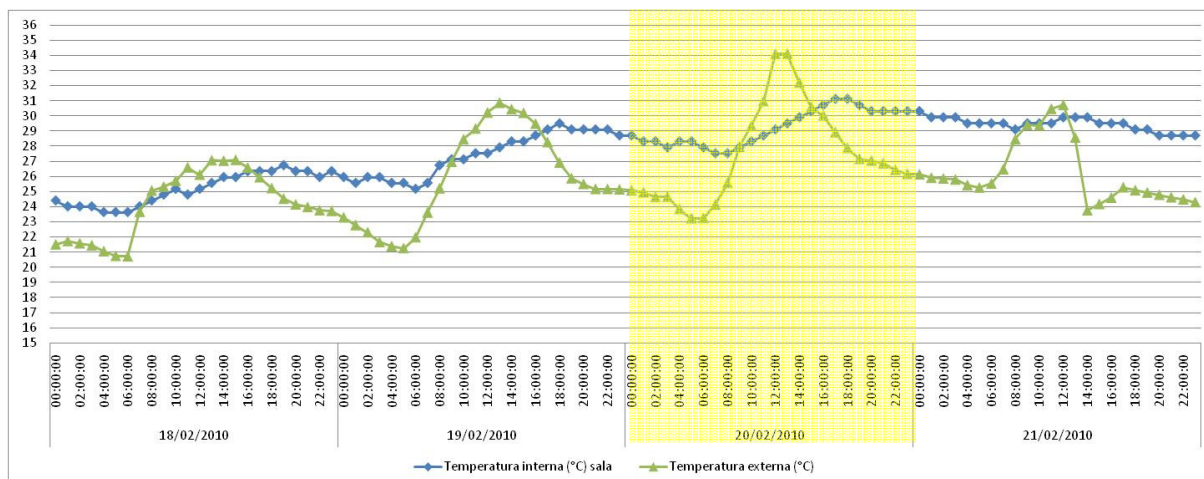


Figura 64 – Gráfico da variação da temperatura do ar na seqüência de dias que engloba o dia típico de verão.

A norma estabelece que para desempenho mínimo o valor máximo diário da temperatura do ar no interior dos ambientes de permanência prolongada seja menor que o valor máximo diário da temperatura do ar exterior. A temperatura máxima registrada no interior do apartamento foi de 31,12°C na sala e de 31,52°C no dormitório enquanto que a temperatura máxima do ar no exterior foi de 34,10°C, portanto atende ao critério de desempenho mínimo da NBR 15575. Entretanto, fazendo a análise para atendimento do desempenho intermediário o apartamento não atende ao critério, pois a temperatura do ar teria que ter se mantido abaixo dos 29°C.

4.3.3.2. Comportamento térmico no inverno – apartamento quesitos de inverno.

Para análise do período de inverno foram considerados os dados de 01 de junho de 2010 à 30 de agosto de 2010. As temperaturas internas consideradas correspondem apenas aos dados coletados na sala, pois o equipamento do dormitório apresentou problemas e não temos os registros a partir do dia 26 de junho.

4.3.3.2.1. Temperatura do ar

A temperatura média do ar externo durante o período analisado foi de 14,30°C, enquanto que o valor médio de temperatura medido dentro do apartamento foi de 14,92°C.

O gráfico da figura 65 apresenta o comportamento médio da temperatura do ar, para o exterior e interior do apartamento durante o período analisado.

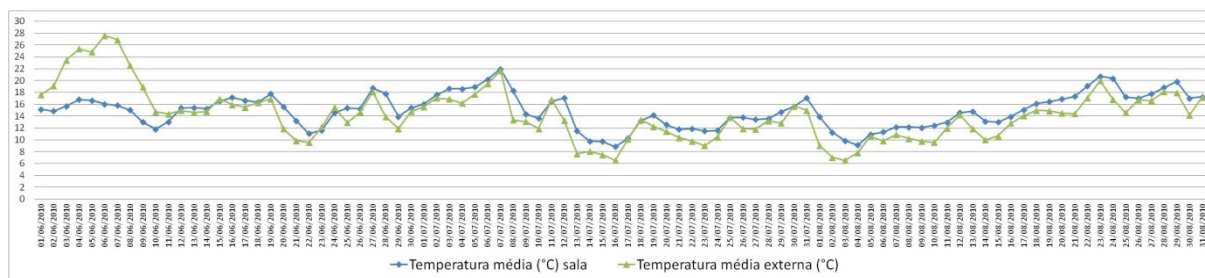


Figura 65 – Gráfico da variação das temperaturas médias diárias no período de 01 de junho a 31 de agosto de 2010.

Semana com a menor média de temperatura

A sequência de sete dias com a menor média das mínimas diárias ocorreu entre os dias 01 e 08 de agosto. O gráfico da figura 66 abaixo permite a visualização da distribuição das temperaturas durante este período.

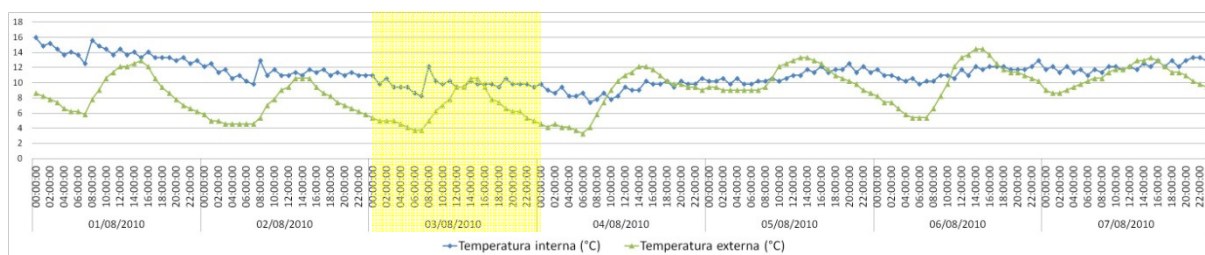


Figura 66 – Gráfico da variação da temperatura do ar durante a semana com a menor média de temperatura.

A média das mínimas diárias de temperatura calculadas para esta semana foi de 5,78°C. A temperatura externa mínima registrada foi de 3,31 às 6hs do dia 4 de agosto. O valor mínimo registrado no interior do apartamento foi de 7,43°C e ocorreu às 7hs e às 8hs também do dia 4 de agosto.

A média semanal da temperatura externa foi de 8,83°C, enquanto que a média interna calculada foi de 11,24°C.

Durante a semana foram registradas variações de temperatura diária externa entre 4,69°C e 9,07°C, com uma média de 6,76°C. Já no interior do apartamento as temperaturas apresentaram uma amplitude térmica diária entre 2,33°C e 3,93°C, com uma média de 3,06°C.

Dia com a menor média de temperatura

O dia com a menor média de temperatura durante o período de inverno foi o dia 03 de agosto, onde a média calculada no exterior foi 6,53°C e de 9,85°C no interior do apartamento.

O valor mínimo de temperatura externa registrado durante o dia ocorreu às 6hs, chegando ao extremo de 3,74°C. Verificou-se um atraso térmico de uma hora em relação ao valor mínimo registrado no interior do apartamento que foi de 8,23 e ocorreu às 7hs.

O gráfico da figura 67 demonstra a variação da temperatura do ar no interior e no exterior do apartamento no decorrer do dia.

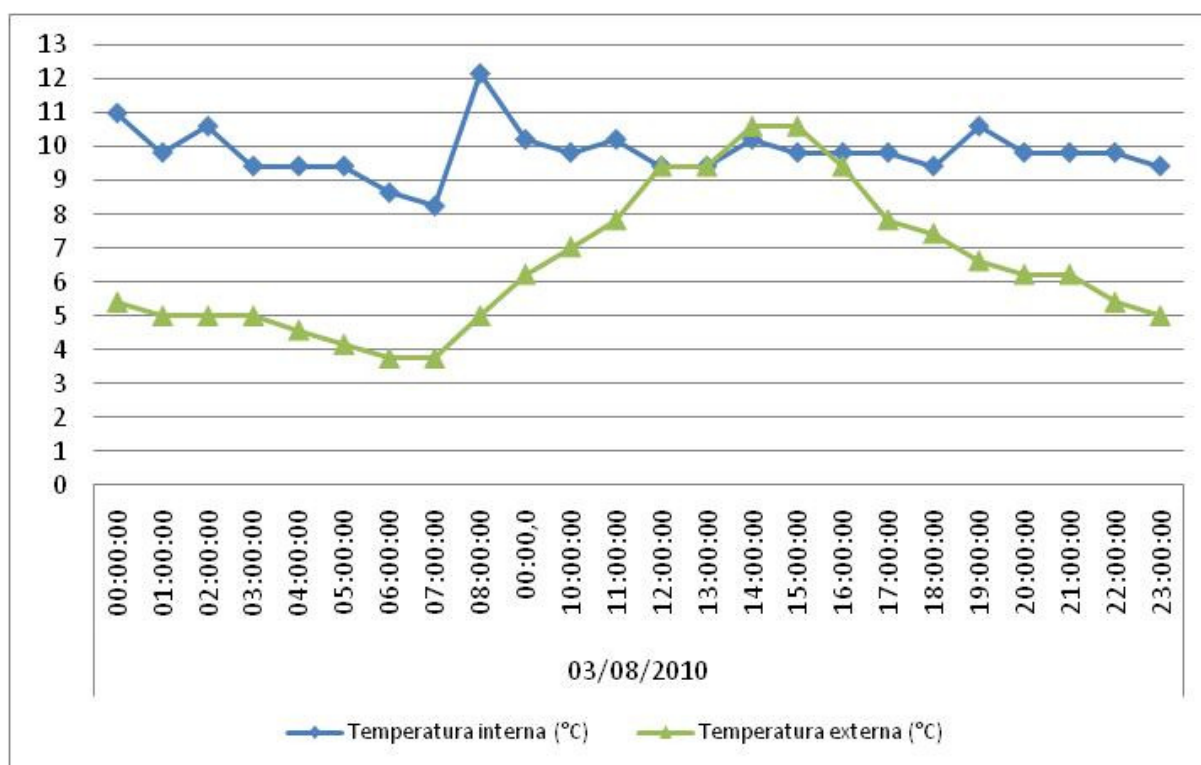


Figura 67 – Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a menor média de temperatura.

Maior amplitude térmica e o amortecimento proporcionado pela construção

A maior amplitude diária, durante o período de inverno analisado, ocorreu no dia 07 de junho com uma variação de 20,2°C em 8 horas.

Os valores externos variaram de 18,34°C a 38,54°C, enquanto que no interior do apartamento a temperatura máxima foi de 16,38°C e a mínima de 14,85°C.

O amortecimento térmico médio verificado foi de 22,16°C para as máximas e de 3,49°C para as mínimas.

O atraso térmico para as máximas foi de uma hora e de duas horas para as mínimas.

O gráfico da figura 68 demonstra a variação da temperatura do ar no exterior e no interior do apartamento.

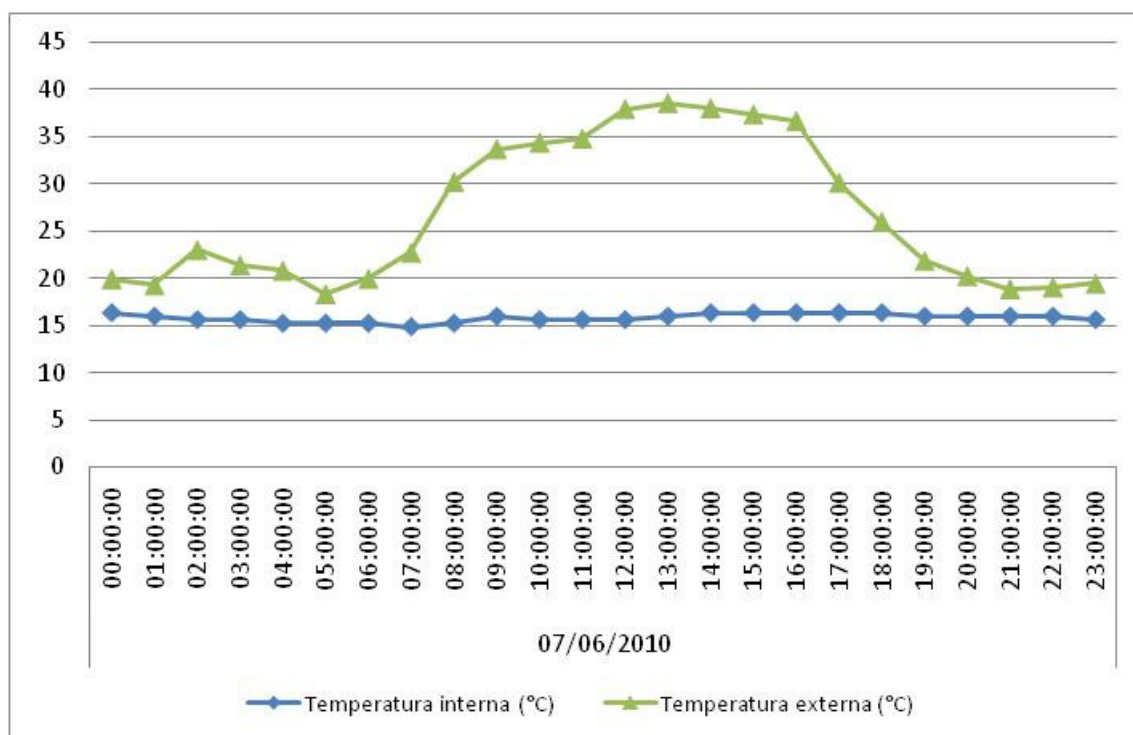


Figura 68 – Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a maior amplitude térmica.

Como em outros caso, apesar da temperatura externa alcançar 38°C, a temperatura interna mal ultrapassou os 15°C, não se beneficiando da onda de calor.

4.3.3.2.2. Graus-hora e grau-médio

A tabela 23 apresenta o somatório de graus-hora, o número de horas com temperatura fora dos limites das temperaturas-base e o grau-médio calculado, para o período de inverno.

Tabela 23 – Somatório graus-hora para aquecimento.

Temperatura base	Temperatura interna			Temperatura externa		
	Graus-hora	n° de horas	Grau-médio	Graus-hora	n° de horas	Grau-médio
18°C	7348,12	1917	3,83	9903,03	1853	5,34

Em um total de 2208 horas observa-se que, no interior do apartamento, ocorreram 1917 horas abaixo da temperatura base de 18°C, as quais geraram um somatório de 7348,12 graus-hora e um grau-médio de 3,83, enquanto que externamente foram 1853 horas, com um somatório de graus-hora de 9903,03 e um grau-médio de 5,34.

Na tabela 24 observa-se que mesmo o período analisado sendo de inverno, 46 horas ficaram acima da temperatura-base de 29°C nos registros de temperaturas externas. No interior do apartamento não houve nenhum registro acima de 29°C.

Tabela 24 – Somatório graus-hora para refrigeração.

Temperatura base	Temperatura interna			Temperatura externa		
	Graus-hora	n° de horas	Grau-médio	Graus-hora	n° de horas	Grau-médio
29°C	-	-	-	191,51	46	4,16

4.3.3.2.3. Carta bioclimática

As cartas bioclimáticas foram plotadas com os dados horários de temperatura e umidade relativa do ar, no ambiente da sala e no exterior do apartamento.

Através da carta bioclimática apresentada na figura 69 é possível observar a distribuição dos valores de temperatura e umidade relativa durante o período de inverno.

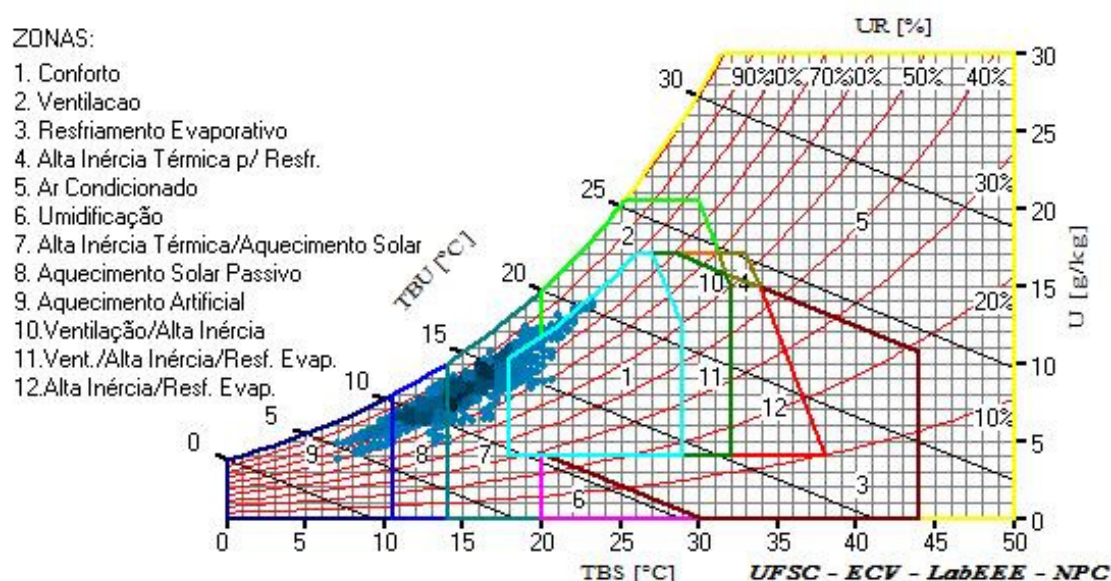


Figura 69 – Carta bioclimática com os dados da sala do período de 01 de junho a 31 de agosto de 2010.

Em um total de 2208 horas monitoradas, apenas 10,50% das horas estão dentro da zona de conforto, o que representa 232 horas.

A figura 70 apresenta os dados das temperaturas externas no mesmo período.

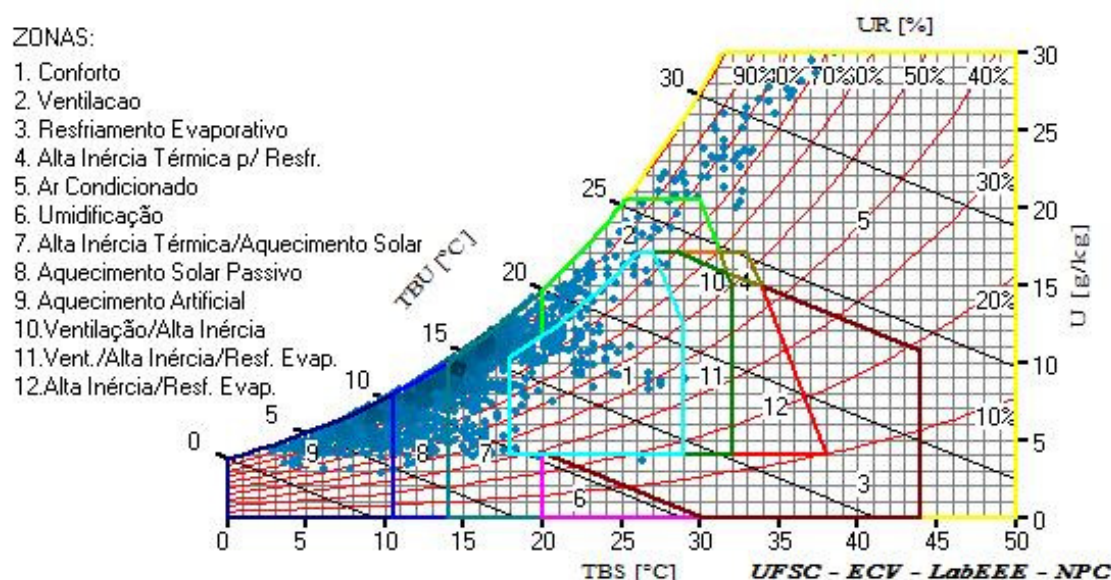


Figura 70 – Carta bioclimática com os dados externos no período de 01 de junho a 31 de agosto de 2010.

Para as condições externas, 5,75% das horas estão dentro da zona de conforto, e 94,2% em desconforto, sendo 88% de desconforto por frio e 6,2%

desconforto por calor. Pode-se verificar que houve melhora das condições de conforto no interior do apartamento em relação ao ambiente externo.

4.3.3.2.4. NBR 15575

O gráfico da figura 71 demonstra a variação da temperatura do ar no interior e no exterior do apartamento no dia típico de inverno, nos dias que o precederam e no dia que o sucedeu.

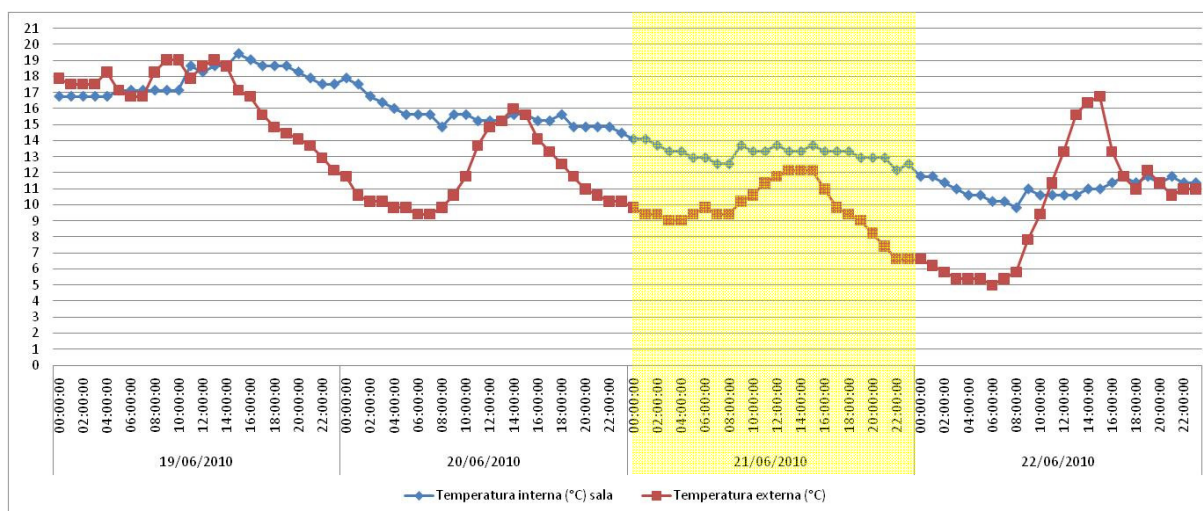


Figura 71 – Gráfico da variação da temperatura do ar na sequência de dias que engloba o dia típico de inverno.

A norma estabelece que para desempenho mínimo o valor mínimo da temperatura do ar no interior dos ambientes de permanência prolongada deva ser maior que 12°C. A temperatura mínima registrada no interior do apartamento foi de 11,77°C na sala e de também de 11,77°C no dormitório, portanto não atende ao critério de desempenho mínimo da NBR 15575.

4.3.3.3. Comportamento térmico no verão – apartamento com quesitos de verão.

Neste apartamento o equipamento apresentou problemas e não registrou as temperaturas do segundo semestre do ano, portanto não temos as temperaturas do mês de dezembro. Sendo assim optou-se por analisar também as temperaturas do mês de março, que é o quarto mês mais quente do ano com temperaturas médias

bem próximas as do mês de dezembro, conforme demonstrado no capítulo 3, tabelas 4 e 5.

Para análise do período de verão foram considerados os dados de 28 de janeiro a 31 de março de 2010. Foram realizadas medições na sala e em um dos dormitórios do apartamento.

4.3.3.3.1. Temperatura do ar

A temperatura média do ar externo durante o período analisado foi de 24,27°C, enquanto que dentro do apartamento a temperatura média foi de 27,73°C na sala e de 27,66°C no dormitório.

O gráfico da figura 72 apresenta o comportamento médio da temperatura do ar, no exterior e no interior do apartamento durante o período analisado.

Destaca-se no gráfico que praticamente em todo período, com exceção dos dias 29 de janeiro e 17 de fevereiro, as temperaturas internas do apartamento se mantiveram mais altas que as temperaturas externas. Observa-se que a envoltória da edificação não conseguiu amortecer os efeitos das amplitudes externas, mantendo as temperaturas internas elevadas.

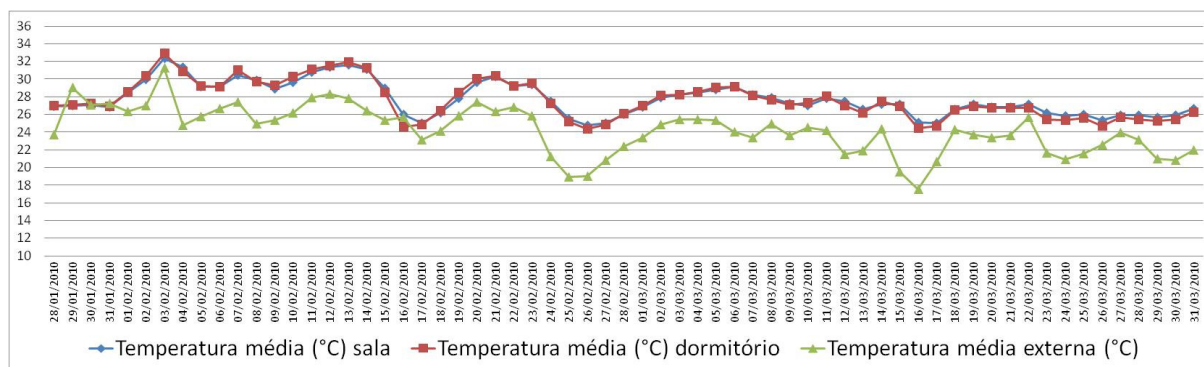


Figura 72 – Gráfico da variação das temperaturas médias diárias no período de 28 de janeiro a 31 de março de 2010.

Semana com a maior média de temperatura

A sequência de sete dias com a maior média das máximas diárias ocorreu entre os dias 30 de janeiro e 5 de fevereiro. O gráfico da figura 73 permite a visualização da distribuição das temperaturas durante este período.

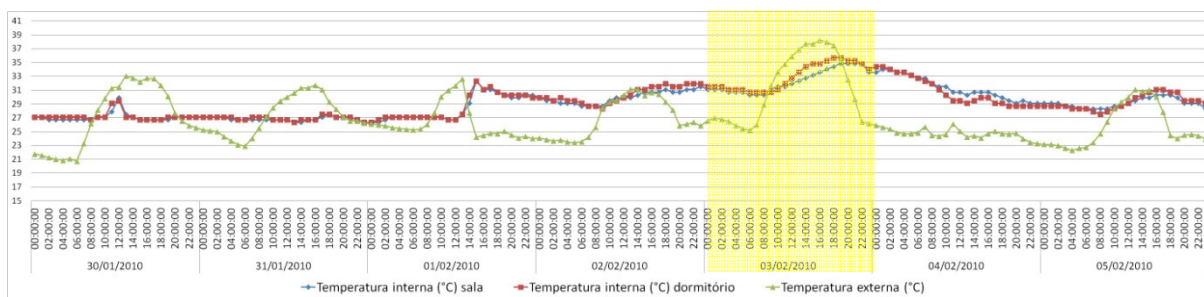


Figura 73 – Gráfico da variação da temperatura do ar durante a semana com a maior média de temperatura.

A média das máximas diárias de temperatura externa calculada para esta semana foi de 32°C. A temperatura externa máxima registrada foi de 38,22°C às 16hs do dia 3 de fevereiro. O valor máximo registrado no interior do apartamento foi de 34,85°C na sala, e se repetiu em quatro ocasiões, às 19hs, 20hs, 21hs e 22hs do dia 3 de fevereiro. No dormitório a temperatura máxima foi de 35,7°C e também ocorreu no dia 3 de fevereiro às 18hs e 19hs.

A temperatura média do ar, no exterior foi de 27,06°C, enquanto que a média interna calculada foi de 27,09°C na sala e de 27,22°C no dormitório.

Durante a semana foram registradas variações de temperatura externa entre 2,83°C e 13,04°C, com uma média de 8,88°C. Já no interior a oscilação ficou entre 1,18°C e 6,0°C no dormitório, com uma média de 3,98°C, e entre 1,18°C e 6,0°C com uma amplitude média de 3,52°C na sala.

Dia com a maior média de temperatura

O dia com maior média de temperatura durante o período foi o dia 3 de fevereiro, onde a média calculada foi de 32,33°C na sala do apartamento, 32,93°C no dormitório e de 31,27°C no exterior do apartamento.

O valor máximo de temperatura externa registrado durante o dia ocorreu às 16hs, chegando ao limite de 38,22°C. Verificou-se um atraso térmico de duas horas em relação ao valor máximo registrado no dormitório e de três horas na sala. O valor máximo de temperatura no interior do apartamento foi de 35,7°C no dormitório e ocorreu às 18hs e 19hs, já na sala a temperatura máxima registrada foi de 34,85°C e ocorreu às 19, 20, 21 e 22hs.

Verifica-se no gráfico da figura 74 que a partir das 19hs a temperatura externa começa a apresentar valores inferiores a temperatura interna, sendo assim

este o horário ideal para que fosse utilizada a estratégia de ventilação natural para resfriamento da edificação.

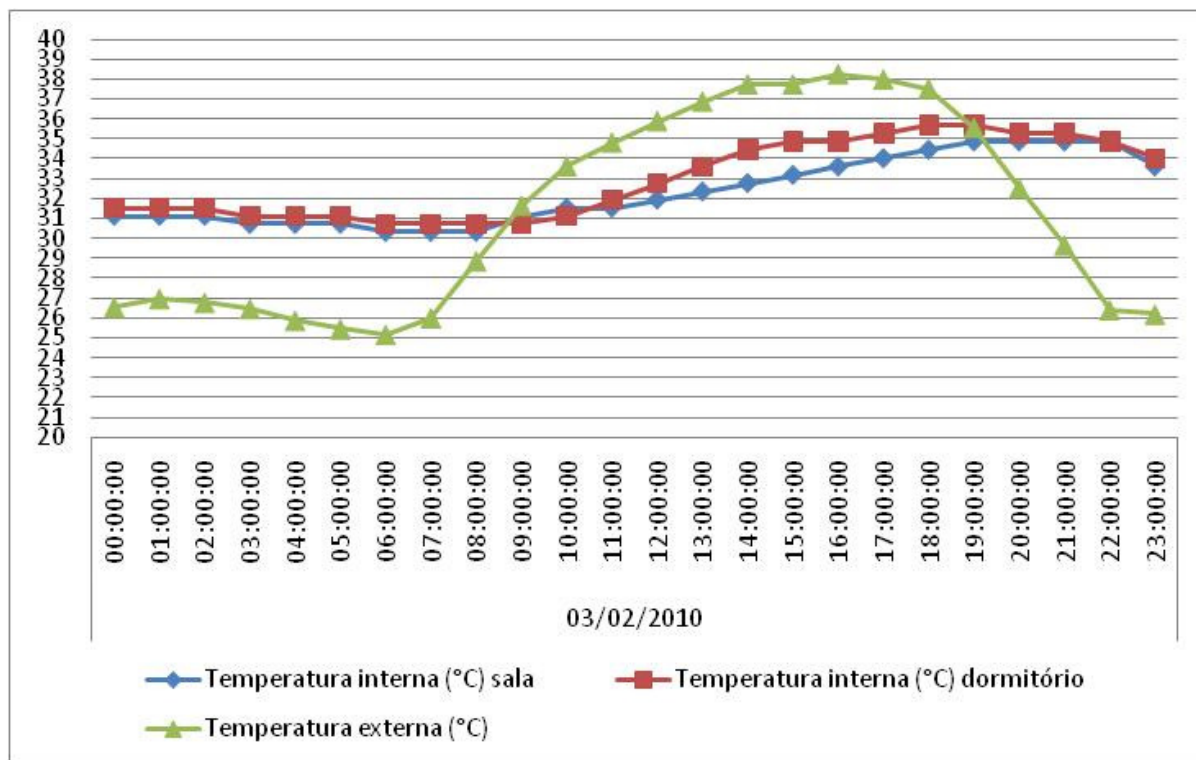


Figura 74 – Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a maior média de temperatura.

Maior amplitude térmica e o amortecimento proporcionado pela construção

A maior amplitude diária, durante o período de verão analisado, ocorreu no dia 24 de março com uma variação de 15,01 °C em oito horas.

Os valores externos variaram de 13,60 °C a 28,61 °C, enquanto que no interior do apartamento a temperatura máxima foi de 26,34 °C na sala e de 26,73 °C no dormitório, a temperatura mínima foi de 24,4 °C na sala e de 23,24 °C no dormitório.

O amortecimento térmico médio verificado foi de 2,27 °C para as máximas e de 10,8 °C para as mínimas.

O atraso térmico para as máximas, assim como para as mínimas foi de uma hora, tanto na sala quanto no dormitório.

O gráfico da figura 75 demonstra a variação da temperatura do ar no exterior e no interior do apartamento durante o dia.

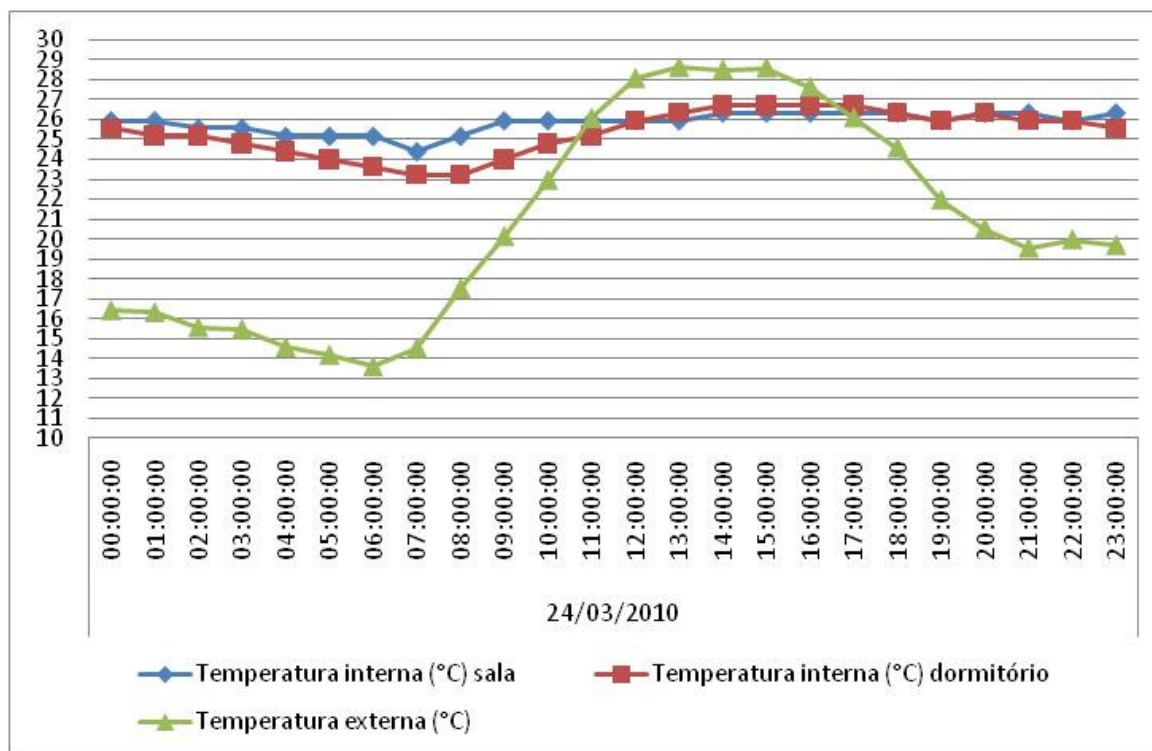


Figura 75 – Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a maior amplitude térmica.

4.3.3.3.2. Graus-hora e grau-médio

A tabela 25 apresenta o somatório de graus-hora, o número de horas com temperatura fora dos limites das temperaturas-base e o grau-médio calculado, para o período de verão.

Tabela 25 – Somatório graus-hora para refrigeração.

Temperatura base	Temperatura interna			Temperatura externa		
	Graus-hora	n° de horas	Grau-médio	Graus-hora	n° de horas	Grau-médio
29°C	583,58	415	1,41	437,13	195	2,24

Em um total de 1512 horas observa-se que, no interior do apartamento ocorreram 415 horas acima da temperatura-base de 29°C, as quais geraram um somatório de 583,58 graus-hora e um grau-médio de 1,41, enquanto que externamente foram 195 horas, com um somatório de 437,13 graus-hora e um grau-médio de 2,24.

Na tabela 26 observa-se que mesmo o período analisado sendo de verão, 108 horas ficaram abaixo da temperatura-base de 18°C nos registros de

temperaturas externas. No interior do apartamento não houve nenhum registro abaixo de 18°C.

Tabela 26 – somatório graus-hora para aquecimento.

Temperatura base	Temperatura interna			Temperatura externa		
	Graus-hora	n° de horas	Grau-médio	Graus-hora	n° de horas	Grau-médio
18°C	-	-	-	244,98	108	2,27

4.3.3.3.3. Carta bioclimática

As cartas bioclimáticas foram plotadas com os dados horários de temperatura e umidade relativa do ar, no ambiente da sala e no exterior do apartamento.

Através da carta bioclimática apresentada na figura 76 é possível observar a distribuição dos valores de temperatura e umidade relativa durante o período de verão.

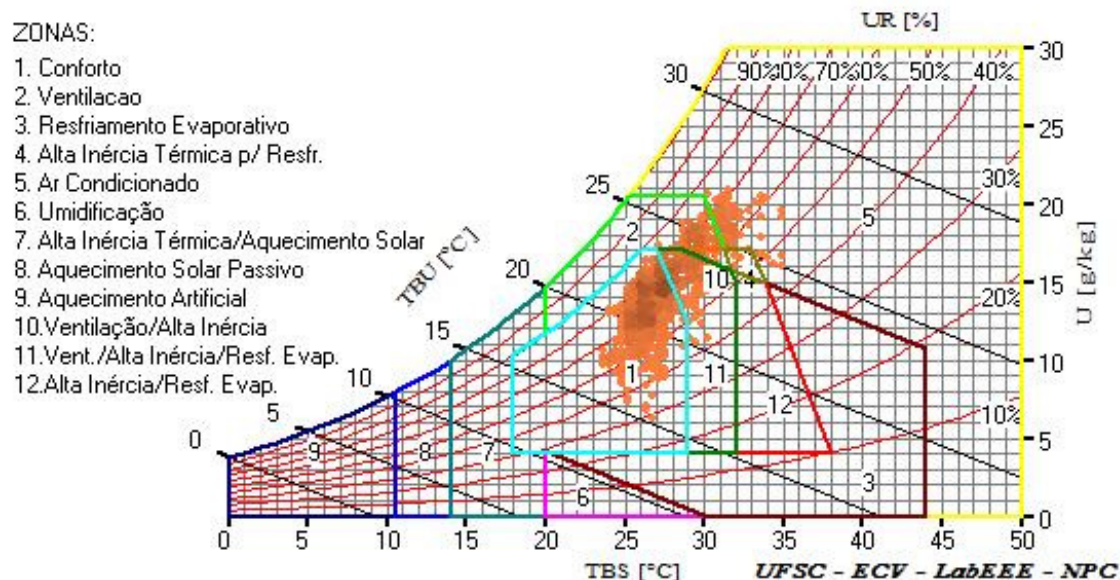


Figura 76 – Carta bioclimática com os dados da sala do período de 28 de janeiro a 31 de março de 2010.

Em um total de 1512 horas monitoradas, 58,60% das horas estão dentro da zona de conforto, o que representa um universo de 886 horas.

A figura 77 apresenta os dados das temperaturas externas no mesmo período.

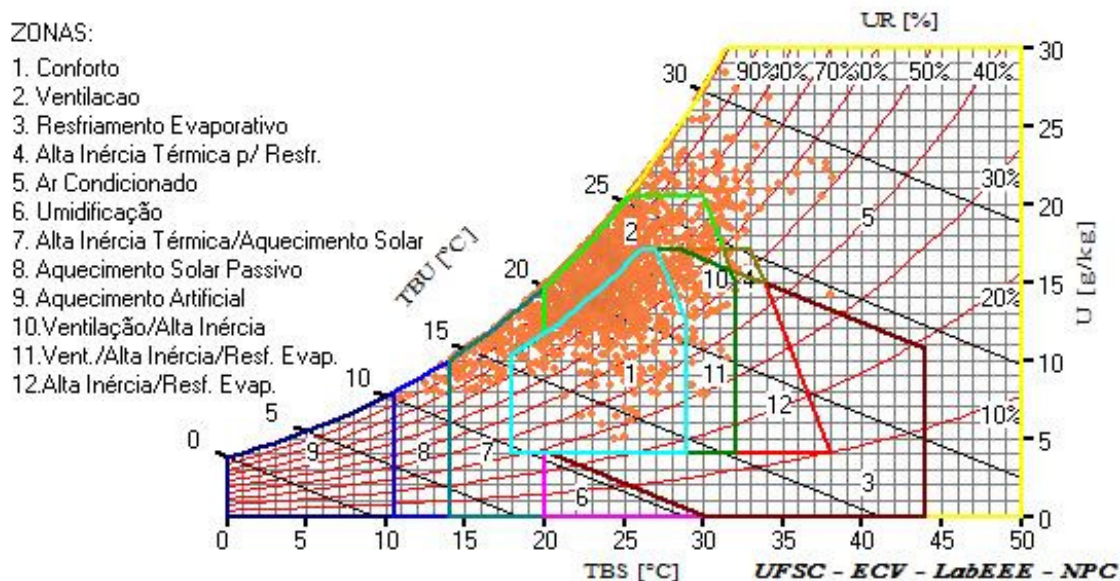


Figura 77 – Carta bioclimática com os dados externos no período de 28 de janeiro a 31 de março de 2010.

Para as condições externas, 32,10% das horas estão dentro da zona de conforto, e 67,60% em desconforto, sendo 11,9% de desconforto por frio e 55,7% desconforto por calor. Pode-se verificar que houve melhora das condições de conforto no interior do apartamento em relação ao ambiente externo.

4.3.3.3.4. NBR 15575

O gráfico da figura 78 demonstra a variação da temperatura do ar no interior e no exterior do apartamento no dia típico de verão, nos dias que o precederam e no dia que o sucedeu.

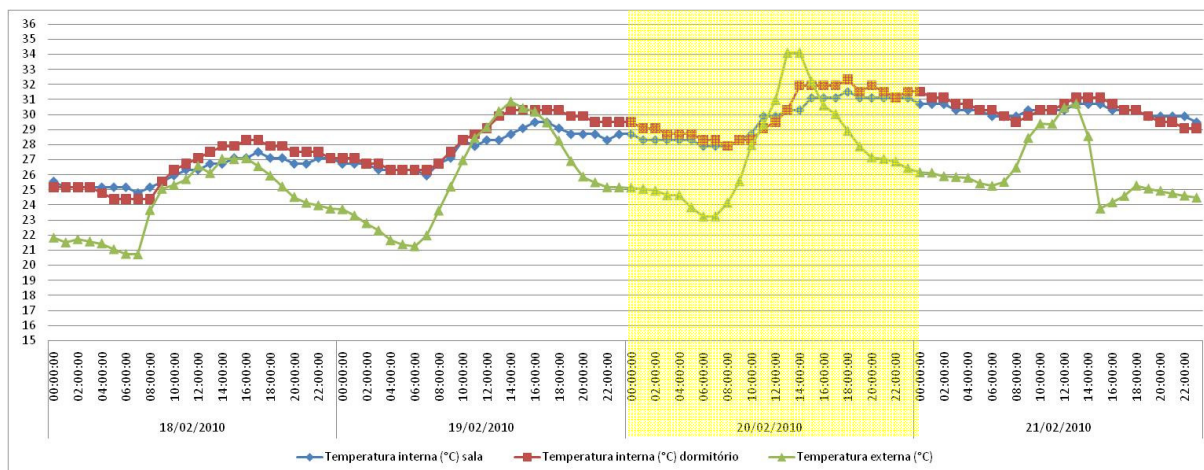


Figura 78 – Gráfico da variação da temperatura do ar na seqüência de dias que engloba o dia típico de verão.

A norma estabelece que para desempenho mínimo o valor máximo diário da temperatura do ar no interior dos ambientes de permanência prolongada seja menor que o valor máximo diário da temperatura do ar exterior. A temperatura máxima registrada no interior do apartamento foi de 31,52°C na sala e de 33,34°C no dormitório enquanto que a temperatura máxima do ar no exterior foi de 34,10°C, portanto atende ao critério de desempenho mínimo da NBR 15575. Entretanto, fazendo a análise para atendimento do desempenho intermediário o apartamento não atende ao critério, pois a temperatura do ar teria que ter se mantido abaixo dos 29°C.

4.4. PAR Regente

4.4.1. Características construtivas

O conjunto habitacional Regente possui 124 unidades habitacionais, distribuídas em quatro blocos de quatro pavimentos que possuem tipologia em fita. A figura 79 mostra a inserção do conjunto na malha urbana da cidade e o seu entorno. As figuras 80 e 81 mostram vistas gerais do PAR Regente.



Figura 79 – Inserção do PAR Regente na malha urbana da cidade.
Fonte: Google Earth.



Figura 80 – Foto PAR Regente.



Figura 81 – Foto PAR Regente.

O apartamento monitorado está localizado no último pavimento, possui paredes externas com orientação nordeste e noroeste, todas as janelas estão voltadas para o noroeste, a parede exposta para o nordeste não possui aberturas.

A figura 82 indica a localização do apartamento na implantação do PAR Regente, que atende aos quesitos estabelecidos pela NBR 15575 para ser analisado nas piores condições de verão.

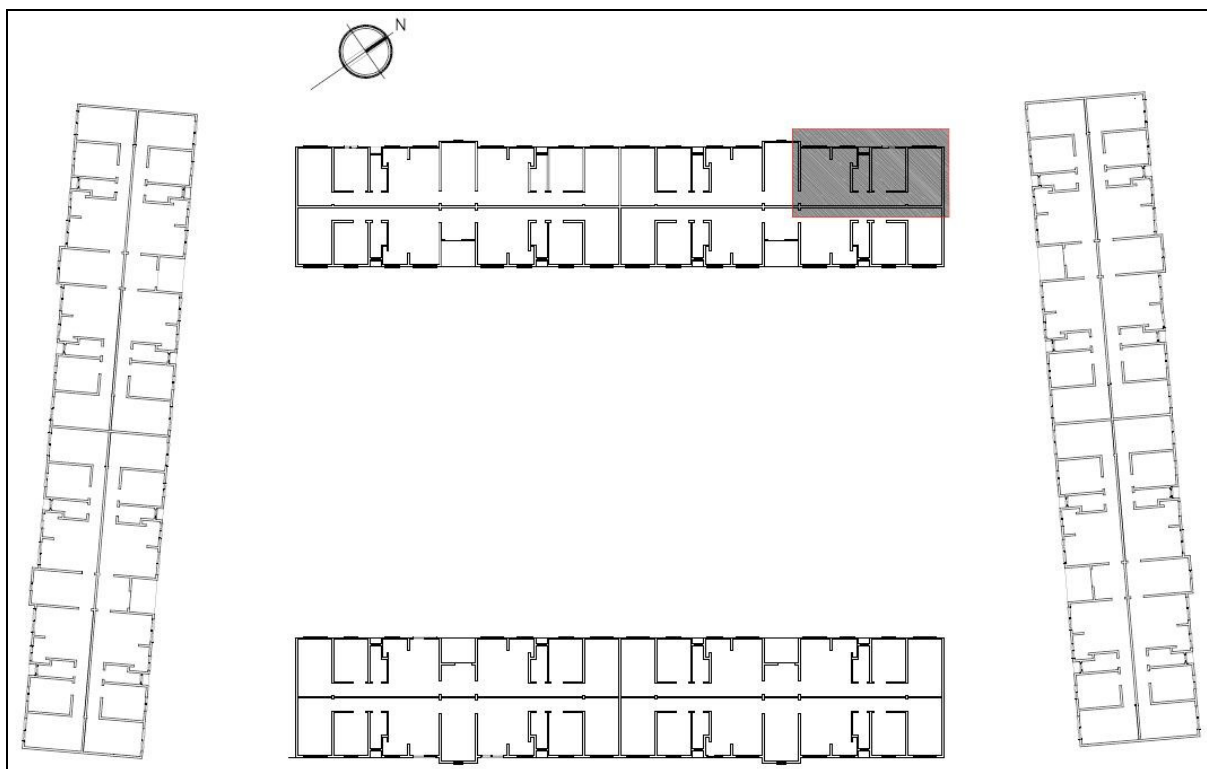


Figura 82 – Identificação do apartamento monitorado na implantação do PAR Regente.

A figura 83 apresenta a planta baixa do apartamento e indica a localização dos aparelhos de medição instalados. Todas as unidades habitacionais do conjunto apresentam as mesmas dimensões e disposição dos ambientes, cada unidade habitacional possui uma área útil de 38,18m².

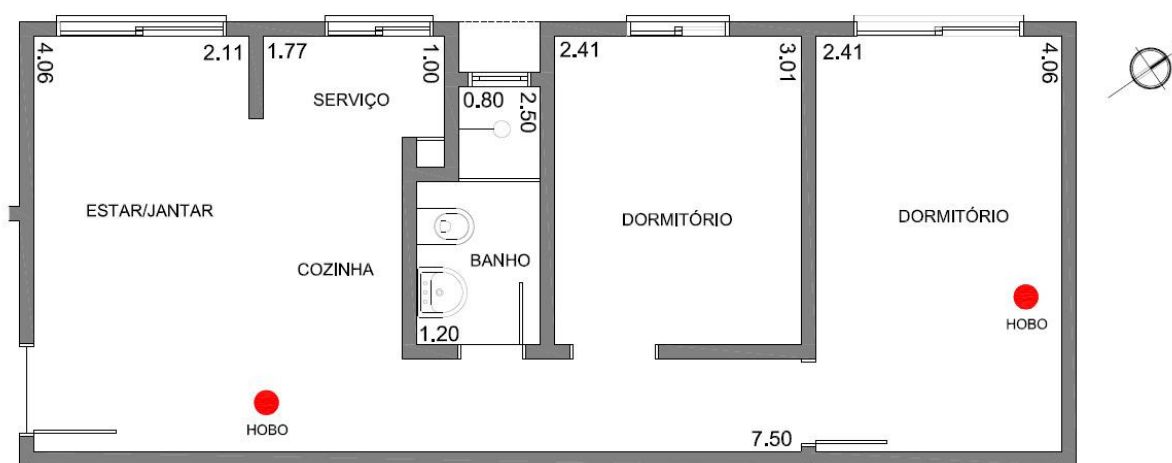


Figura 83 – Planta-baixa do apartamento com a localização dos HOBOS instalados.

O edifício possui as paredes externas em alvenaria de blocos cerâmicos com dimensões de 14x19x29cm. As paredes possuem revestimento externo em reboco com espessura de 2,5cm, internamente os blocos receberam apenas pintura, a espessura da argamassa de assentamento é de 1cm. A espessura total da parede é de 16,5cm. As paredes internas são de alvenaria de blocos cerâmicos com dimensões de 14x19x29cm. As paredes não possuem revestimento, internamente os blocos receberam apenas pintura, a espessura da argamassa de assentamento é de 1cm. A espessura total da parede é de 14cm. A cobertura é de telhas cerâmicas com laje pré-fabricada de concreto de 8cm de espessura.

A tabela 27 apresenta as propriedades térmicas calculadas para os elementos da edificação.

Tabela 27 – Propriedades térmicas dos componentes construtivos – PAR Regente.

Componente	Transmitância térmica U [W/(m ² .K)]	Capacidade térmica CT [kJ/(m ² .K)]	Atraso térmico ϕ [horas]
Alvenaria externa	2,59	153	3,18
Alvenaria interna	2,76	103	2,56
Cobertura	2,10	194,4	4,83

As aberturas são todas em alumínio com sistema de abertura de correr nos dormitórios, sala e área de serviço e maxi-ar no banho. As janelas não possuem nenhum tipo de proteção que proporcione sombreamento.

Na tabela 28 são apresentadas as áreas de cada compartimento, e o percentual de área de ventilação efetiva em relação à área de piso.

Tabela 28 – Áreas compartimentos e área útil de ventilação.

Quadro áreas da unidade habitacional do PAR Regente		
Compartimento	Área útil compartimento	Área útil ventilação (% da área do piso)
Dormitório 1	9,78m ²	9,57%
Dormitório 2	7,25m ²	9,10%
Banho	2,67m ²	11,51%
Sala/cozinha/serviço	14,93m ²	9,11%
Circulação	3,55m ²	-
Área total	38,18m ²	-

Na entrevista realizada com a moradora foram identificadas as seguintes rotinas de ocupação e uso do apartamento. Durante a semana o apartamento permanece sempre vazio durante o dia e ocupado à noite, nos finais de semana com frequência o apartamento também permanece vazio durante o dia e ocupado apenas à noite. Em relação a ventilação dos ambientes, a moradora relatou que costuma abrir as janelas diariamente, tanto em dias quentes como em dias frios. Já em relação ao uso de aquecedor no inverno a moradora afirmou que utiliza esporadicamente, apenas em dias muito frios. Por fim foi verificado que são utilizadas cortinas em ambas nas janelas.

As figuras 84 e 85 apresentam a sala e o dormitório do apartamento analisado.



Figura 84 – Foto ambiente monitorado – sala.



Figura 85– Foto ambiente monitorado – dormitório.

4.4.2. Avaliação prescritiva

Neste item são apresentadas as avaliações prescritivas, realizadas a partir das características construtivas e de projeto, com relação às diretrizes estabelecidas pelas NBR 15220 e NBR 15575.

4.4.2.1. NBR 15220

Aberturas

A norma estabelece, para a zona bioclimática 2, que a edificação deve possuir aberturas para ventilação médias, o que corresponde de 15% a 25% da área do piso.

Como a sala/cozinha/serviço possui uma área de ventilação de 9,11% em relação à área do piso, o dormitório de casal 9,57% e o segundo dormitório 9,10%, verifica-se que a unidade habitacional não possui a área mínima de ventilação prescrita.

Em relação ao sombreamento as aberturas não atendem as diretrizes da norma, pois não possuem nenhum tipo de proteção que proporcione sombreamento no verão e permitem o sol durante o inverno.

Propriedades térmicas paredes

Através das características construtivas da edificação, constatou-se que as paredes externas da edificação possuem uma transmitância térmica de 2,59 W/m², portanto atende às diretrizes da norma que fixa como valor máximo 3,00 W/m².

O atraso térmico obtido para as paredes é de 3,18 horas, portanto atende às exigências da norma que fixa como valor máximo 4,3 horas.

Propriedades térmicas da cobertura

Através das características construtivas da edificação, constatou-se que a cobertura possui uma transmitância térmica de 2,10 W/m², portanto não atende às diretrizes da norma que fixa como valor máximo 2,0 W/m².

O atraso térmico obtido para as paredes é de 4,83 horas, portanto não atende às diretrizes da norma, o valor ficou superior ao da norma que fixa como valor máximo 3,3 horas.

Estratégias de condicionamento térmico passivo

Em relação às estratégias de condicionamento térmico passivo a norma recomenda ventilação cruzada, aquecimento solar e vedações internas pesadas.

Para avaliação da estratégia de ventilação cruzada foi tomado como base as recomendações do RTQ-R que estabelece que a edificação deve possuir janelas em duas diferentes fachadas (opostas ou adjacentes) e orientações e atender à proporção da equação $A_2/A_1 \geq 0,25$ (onde A_1 é o somatório das áreas de ventilação localizadas na fachada da orientação com maior área de abertura e A_2 somatório das áreas efetivas de ventilação localizadas nas fachadas das demais orientações).

Visto que todas as aberturas do apartamento estão localizadas na mesma orientação o apartamento não atende ao uso da estratégia ventilação cruzada.

Em relação ao aquecimento solar, a posição do apartamento em relação à trajetória solar favorece a incidência de sol durante o inverno nos compartimentos de permanência prolongada. Estes ambientes possuem as aberturas voltadas para o noroeste, orientação esta que recebe radiação solar de 3455 W/m² por dia no solstício de inverno, o que representa 74% em relação ao norte que é a orientação que recebe mais radiação solar neste período, chegando a 4654 W/m².

A estratégia de utilização de vedações internas pesadas não está de acordo com a norma, pois as alvenarias internas do edifício propiciam um atraso térmico de 2,56 horas e de acordo com a norma para uma parede ser considerada pesada teria que ter um atraso térmico maior do que 6,5 horas.

4.4.2.2. NBR 15575

Parte 4: Fachadas e paredes internas

Requisito – adequação de paredes externas

Através das características construtivas da construção, constatou-se que as paredes externas da edificação possuem uma transmitância térmica de 2,59 W/m². A norma estabelece que o valor máximo admissível para a transmitância térmica, para a zona bioclimática 2, deve ser igual ou inferior a 2,5 W/m², portanto as paredes externas não atendem as exigências na norma para o nível de desempenho mínimo em relação a transmitância térmica.

A capacidade térmica (CT) obtido para as paredes externas é de 153 KJ/(m².K). A norma estabelece que o valor mínimo admissível para a capacidade

térmica, para a zona bioclimática 2, deve ser igual ou superior a $130 \text{ KJ}/(\text{m}^2.\text{K})$, portanto as paredes externas atendem as exigências na norma para o nível de desempenho mínimo em relação a capacidade térmica.

Requisito – ventilação dos ambientes internos à habitação

A norma estabelece, para a zona bioclimática 2, que a edificação deve possuir aberturas para ventilação interna dos ambientes de longa permanência, salas, cozinhas e dormitórios, com vãos que correspondam no mínimo 8% da área do piso.

O ambiente da sala/cozinha/serviço possui uma área de ventilação de 9,11% em relação à área do piso, o dormitório de casal 9,57% e o segundo dormitório 9,10%. Com base nestes dados observa-se que em relação à ventilação dos ambientes o conjunto habitacional atende apenas à exigência da norma.

Requisito – sombreamento das aberturas localizadas em paredes externas

A norma estabelece que as janelas dos dormitórios, para qualquer região bioclimática, devem ter dispositivo de sombreamento. Neste requisito o projeto não atende às exigências da norma, pois os dormitórios não possuem nenhum tipo de proteção que proporcione sombreamento.

Parte 5: Coberturas

Requisito – isolamento térmica da cobertura

Através das características construtivas da edificação, constatou-se que a cobertura possui uma transmitância térmica de $2,10 \text{ W}/\text{m}^2$. A norma estabelece que o valor máximo admissível para a transmitância térmica, para a zona bioclimática 2, deve ser igual ou inferior a $2,30 \text{ W}/\text{m}^2$, portanto atende às exigências na norma para o nível de desempenho mínimo em relação a transmitância térmica.

4.4.3. Avaliação a partir dos dados obtidos nas medições

4.4.3.1. Comportamento térmico no verão

Para análise do período de verão foram considerados os dados de 15 de fevereiro a 28 de fevereiro de 2010 e de 01 de dezembro de 2010 a 17 de janeiro de 2011. Foram realizadas medições na sala e em um dos dormitórios do apartamento.

4.4.3.1.1. Temperatura do ar

A temperatura média do ar externo durante o período analisado foi de 24,45°C, enquanto que dentro do apartamento na sala a temperatura média foi de 26,78°C e no dormitório 26,73°C.

Os gráficos da figuras 86 e 87 apresentam o comportamento médio da temperatura do ar, para o exterior e interior do apartamento durante o período analisado.

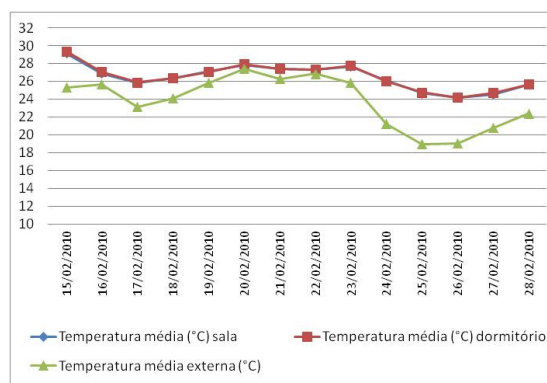


Figura 86 – Gráfico da variação das temperaturas médias diárias no período de 15 de fevereiro a 28 de fevereiro de 2010.

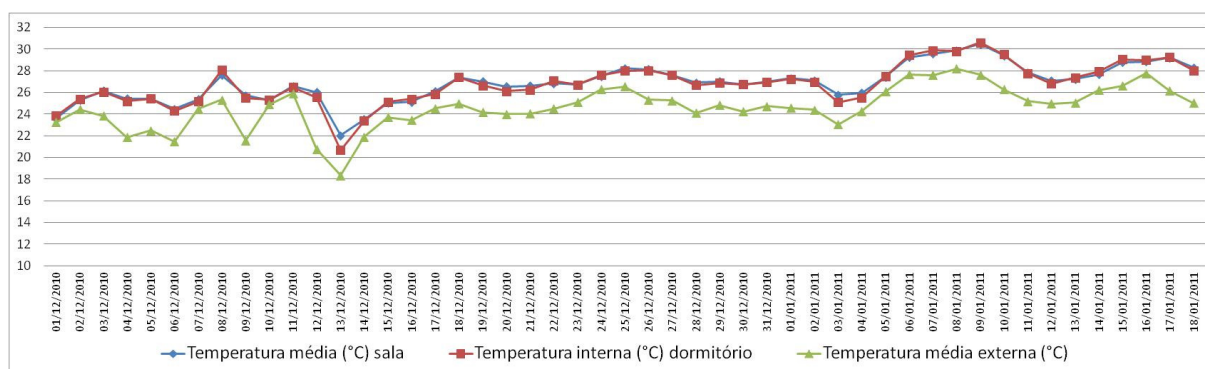


Figura 87 – Gráfico da variação das temperaturas médias diárias no período 01 de dezembro de 2010 a 18 de janeiro de 2011.

Destaca-se nos gráficos das figuras 86 e 87, que em todo o período analisado as médias de temperaturas internas no apartamento se mantiveram mais elevadas que as médias das temperaturas externas. Observa-se que a envoltória da edificação não conseguiu amortecer os efeitos das amplitudes externas, mantendo as temperaturas internas elevadas.

Semana com a maior média de temperatura

Como já apontado a seqüência de sete dias com a maior média das máximas diárias ocorreu entre os dias 30 de janeiro e 5 de fevereiro de 2010, mas como nesta data o equipamento ainda não estava instalado no apartamento a análise será da segunda seqüência de sete dias com a maior média das máximas que ocorreu no ano que foi entre os dias 05 de janeiro a 11 de janeiro de 2011.

O gráfico da figura 88 permite a visualização da distribuição das temperaturas durante este intervalo.

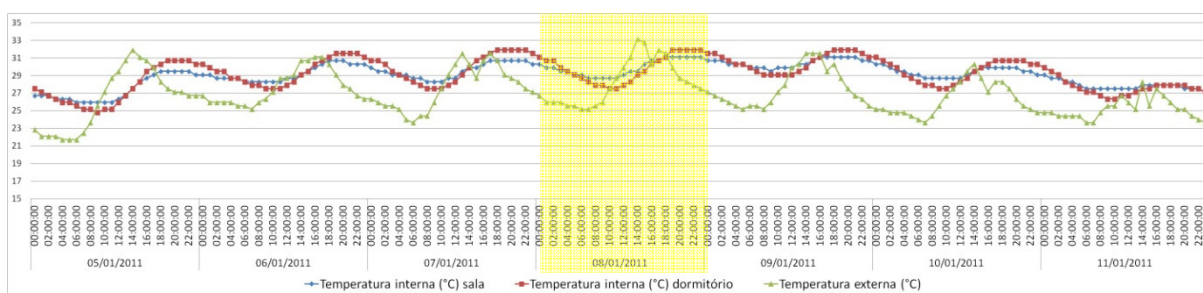


Figura 88 – Gráfico da variação da temperatura do ar durante a semana com a maior média de temperatura.

A média das máximas diárias de temperatura para esta semana foi de 31,13°C. A temperatura máxima registrada foi de 33,17°C às 14hs do dia 08 de janeiro. O valor máximo registrado no interior do apartamento foi de 31,93°C na sala e ocorreu às 19hs e se manteve até às 23hs do dia 08 de janeiro. Na sala a temperatura máxima foi 31,12°C também no dia 08 de janeiro, e ocorreu às 18hs e se manteve até às 23hs.

A temperatura média do ar no exterior foi de 26,97°C enquanto que a média interna calculada foi de 29,13°C na sala e de 29,21°C no dormitório.

Durante a semana foram registradas variações de temperaturas externa entre 4,68°C e 10,22°C, com uma média de 7,11°C. Já no interior a oscilação ficou entre 1,61°C e 3,55°C na sala, com uma amplitude média de 2,28°C, e entre 2,83°C e 5,92°C no dormitório, com uma amplitude média de 4,10°C.

Dia com a maior média de temperatura

O dia com maior média de temperatura durante o período foi o dia 08 de janeiro, onde a média calculada foi de 29,89°C na sala do apartamento, 29,81°C no dormitório e de 28,20°C no exterior do apartamento.

O valor máximo de temperatura externa registrado durante o dia ocorreu às 14hs, chegando ao limite de 33,17°C. Verificou-se um atraso térmico de quatro horas em relação ao valor máximo registrado na sala e de cinco horas no dormitório. O valor máximo de temperatura no interior do apartamento foi de 31,92°C e ocorreu no dormitório das 19hs até as 23hs.

Verifica-se no gráfico da figura 89, que apenas a partir das 19hs a temperatura externa apresenta valores inferiores a temperatura interna, sendo assim o horário ideal pra que se utilize a estratégia de ventilação natural para resfriamento da edificação.

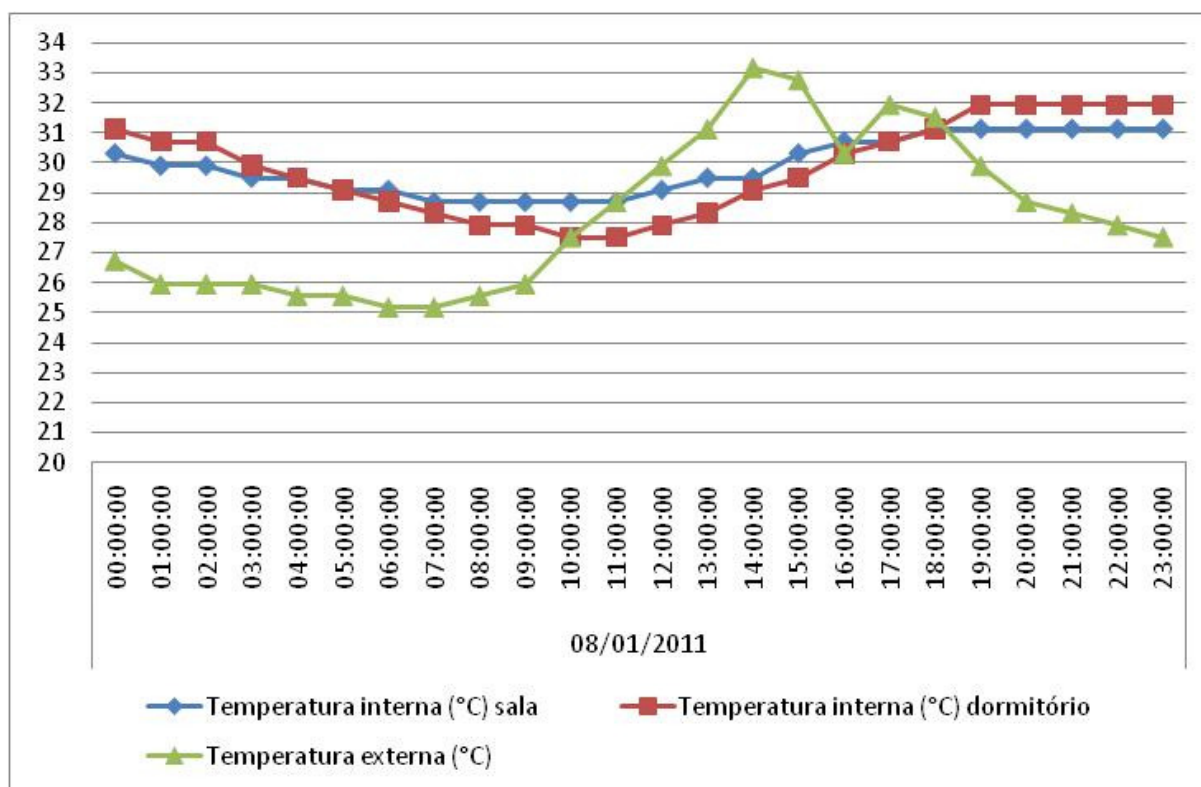


Figura 89 – Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a maior média de temperatura.

Maior amplitude térmica e o amortecimento proporcionado pela construção

A maior amplitude diária, durante o período de verão analisado, ocorreu no dia 14 de dezembro com uma variação de 14,67°C em sete horas.

Os valores externos variaram de 15,23°C a 29,9°C, enquanto que no interior do apartamento a temperatura máxima foi de 26,34°C na sala e de 27,52°C no dormitório, já a temperatura mínima foi de 21,33°C na sala e de 20,19°C no dormitório.

O amortecimento térmico verificado foi de 3,56°C para as máximas e de 9,71°C para as mínimas.

O atraso térmico para as máximas foi de cinco horas na sala e de sete horas no dormitório. Já para as mínimas o atraso térmico foi de uma hora na sala e de duas horas no dormitório.

O gráfico da figura 90 demonstra a variação da temperatura do ar no exterior e no interior do apartamento.

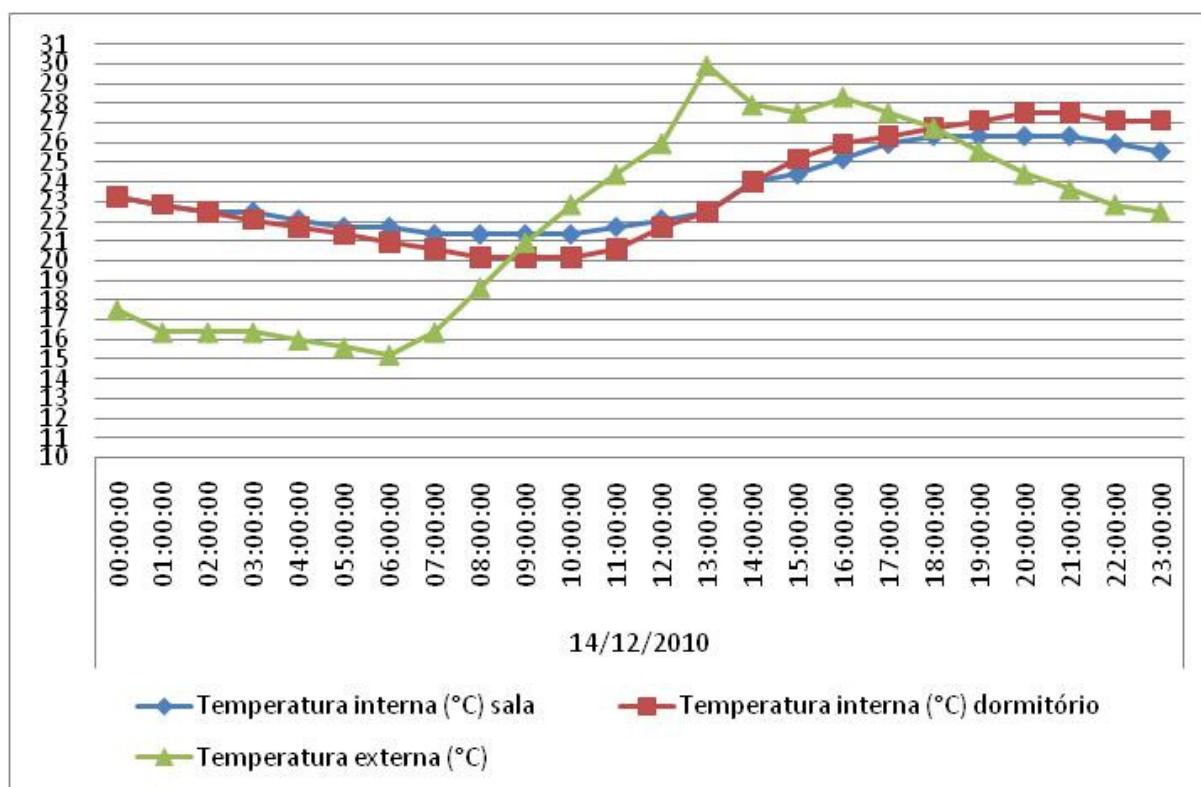


Figura 90 – Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a maior amplitude térmica.

4.4.3.1.2.

Graus-hora e grau-médio

A tabela 29 apresenta o somatório de graus-hora, o número de horas com temperatura fora dos limites das temperaturas-base e o grau-médio calculado, para o período de verão.

Tabela 29 – somatório graus-hora para refrigeração.

Temperatura base	Temperatura interna			Temperatura externa		
	Graus-hora	n° de horas	Grau-médio	Graus-hora	n° de horas	Grau-médio
29°C	310,61	327	0,95	505,85	277	1,83

Em um total de 1944 horas, observa-se que no interior do apartamento ocorreram 327 horas acima da temperatura base de 29°C, as quais geraram um somatório de 310,61 graus-hora e um grau-médio de 0,95 enquanto que, externamente foram 277 horas, com um somatório de graus-hora de 505,85 e um grau-médio de 1,83.

Na tabela 30 observa-se que mesmo o período analisado sendo de verão, 76 horas ficaram abaixo da temperatura-base de 18°C nos registros de temperaturas externas, com um somatório de 152,57 graus-hora e um grau-médio de 2,01. No interior do apartamento não houve nenhum registro abaixo da temperatura-base de 18°C.

Tabela 30 – somatório graus-hora para aquecimento.

Temperatura base	Temperatura interna			Temperatura externa		
	Graus-hora	n° de horas	Grau-médio	Graus-hora	n° de horas	Grau-médio
18°C	-	-	-	152,57	76	2,01

4.4.3.1.3.

Carta bioclimática

As cartas bioclimáticas foram plotadas com os dados horários de temperatura e umidade relativa do ar, no ambiente da sala e no exterior do apartamento.

Através da carta bioclimática apresentada na figura 91 é possível observar a distribuição dos valores de temperatura e umidade relativa durante o período de verão.

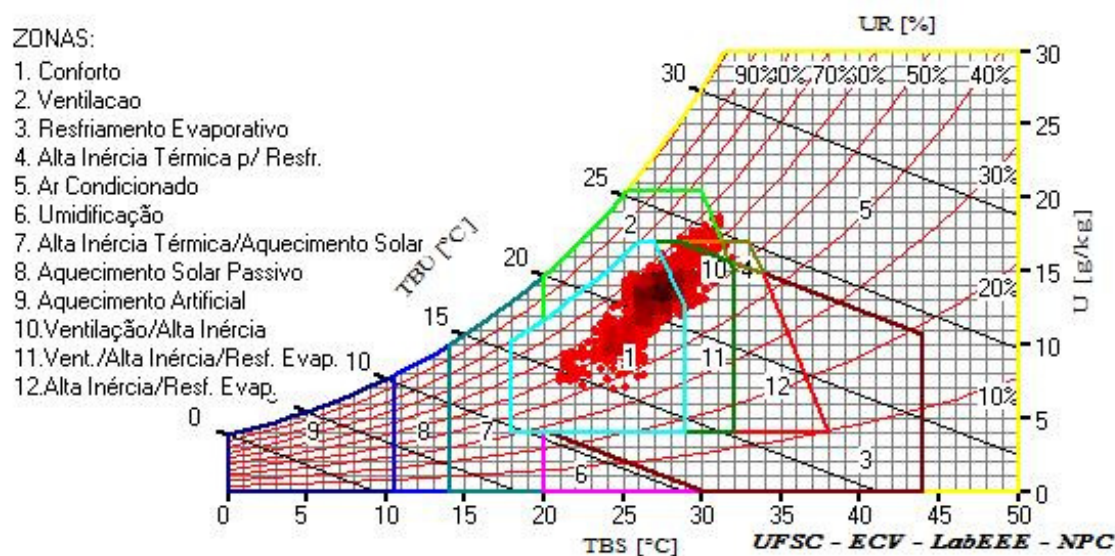


Figura 91 – Carta bioclimática com os dados da sala no período de 28 de janeiro a 28 de fevereiro de 2010 e de 01 de dezembro de 2010 a 18 de janeiro de 2011.

Em um total de 1944 horas monitoradas, 76,85% das horas estão dentro da zona de conforto, o que representa um universo de 1491 horas.

A figura 92 apresenta os dados das temperaturas externas no mesmo período.

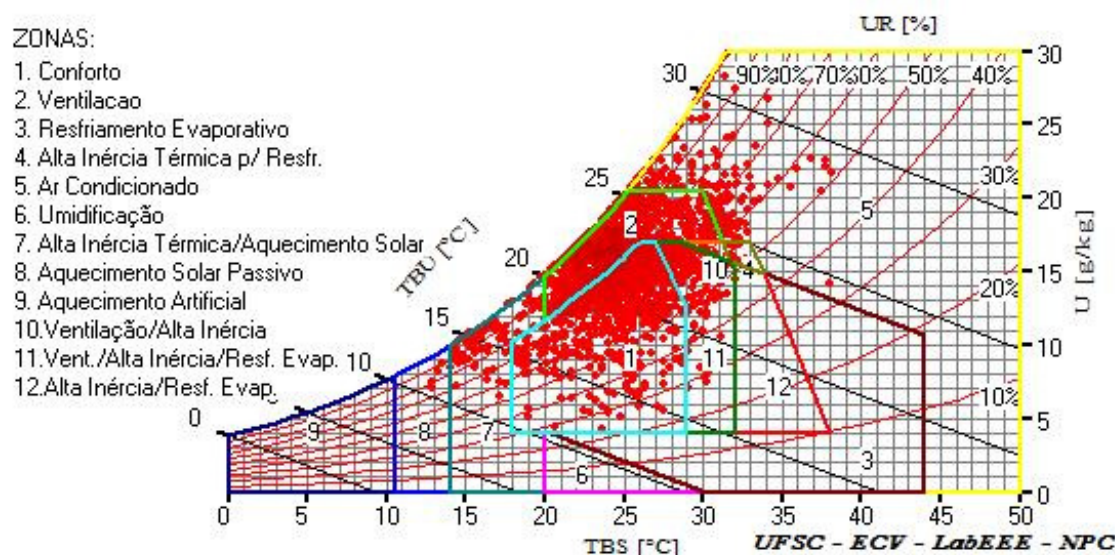


Figura 92 – Carta bioclimática com os dados externos no período de 28 de janeiro a 28 de fevereiro de 2010 e de 01 de dezembro de 2010 a 18 de janeiro de 2011.

Para as condições externas, 37% das horas estão dentro da zona de conforto, e 63% em desconforto, sendo 5,10% de desconforto por frio e 57,90%

desconforto por calor. Pode-se verificar que houve melhora das condições de conforto no interior do apartamento em relação ao ambiente externo.

4.4.3.1.4. NBR 15575

O gráfico da figura 93 demonstra a variação da temperatura do ar no interior e no exterior do apartamento no dia típico de verão, nos dias que o precederam e no dia que o sucedeu.

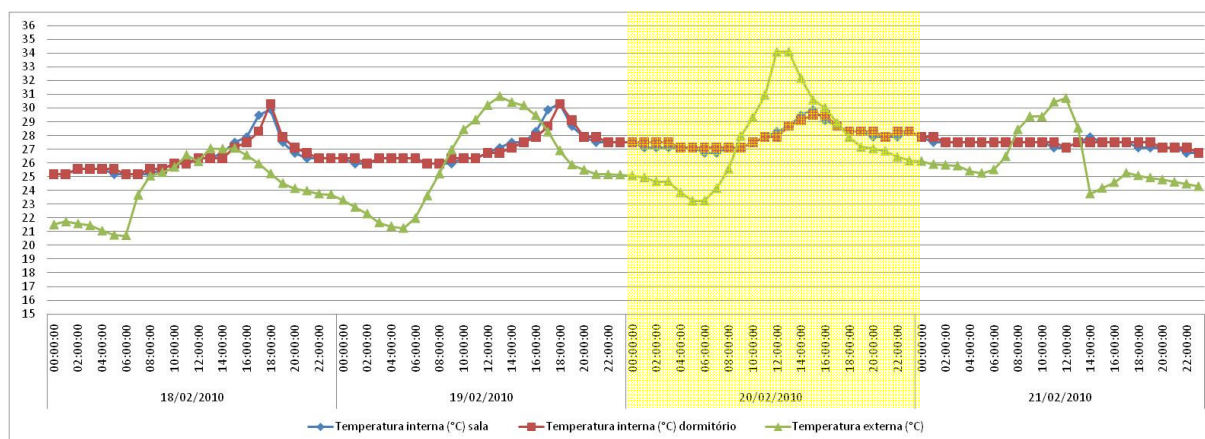


Figura 93 – Gráfico da variação da temperatura do ar na seqüência de dias que engloba o dia típico de verão.

A norma estabelece que para desempenho mínimo o valor máximo diário da temperatura do ar no interior dos ambientes de permanência prolongada seja menor que o valor máximo diário da temperatura do ar exterior. A temperatura máxima registrada no interior do apartamento foi de 29,9°C na sala e de 29,5°C no dormitório enquanto que a temperatura máxima do ar no exterior foi de 34,10°C, portanto atende ao critério de desempenho mínimo da NBR 15575. Entretanto, fazendo a análise para atendimento do desempenho intermediário o apartamento não atende ao critério, pois a temperatura do ar teria que ter se mantido abaixo dos 29°C.

4.4.3.2. Comportamento térmico no inverno

Para análise do período de inverno foram considerados os dados de 01 de junho a 11 de julho de 2010 e de 6 de agosto a 31 de agosto de 2010. Foram realizadas medições na sala e em um dos dormitórios do apartamento.

4.4.3.2.1. Temperatura do ar

A temperatura média do ar externo durante o período analisado foi de 15,74°C, enquanto que dentro do apartamento a temperatura média foi de 18,73°C na sala e de 18,44°C no dormitório.

Os gráficos das figuras 94 e 95 apresentam o comportamento médio da temperatura do ar no exterior e no interior do apartamento durante o período analisado.

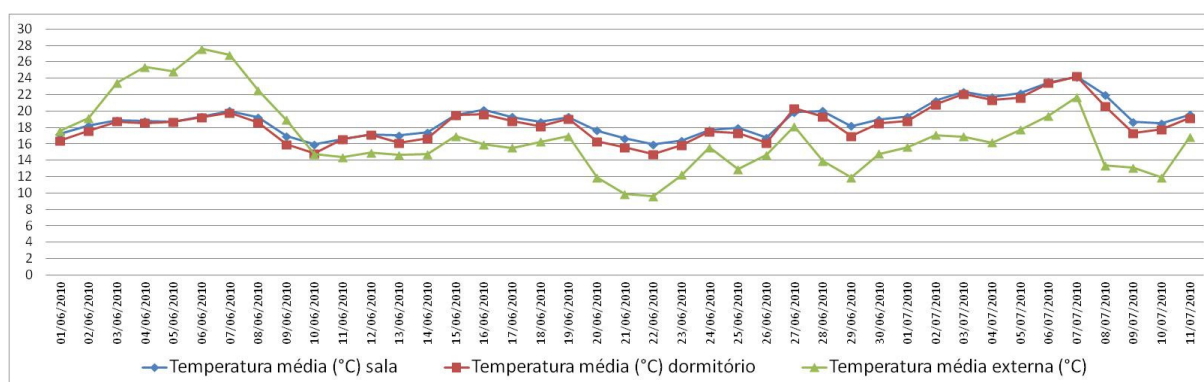


Figura 94 – Gráfico da variação das temperaturas médias diárias no período de 01 de junho a 11 de julho de 2010.

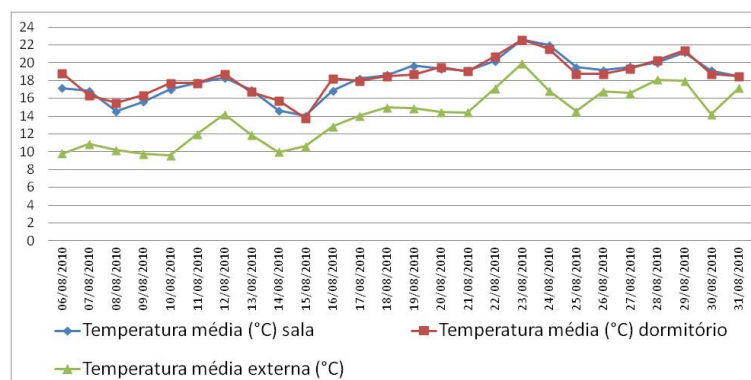


Figura 95 – Gráfico da variação das temperaturas médias diárias no período de 06 de agosto a 31 de agosto de 2010.

Destaca-se no gráfico que praticamente em todo período, com exceção do intervalo entre os dias 01 a 09 de junho, que as médias das temperaturas internas do apartamento se mantiveram mais altas que as médias das temperaturas externas.

Semana com a menor média de temperatura

Como já apontado a sequência de sete dias com a menor média das mínimas diárias ocorreu entre os dias 01 e 08 de agosto de 2010, mas como nesta

data o equipamento ainda não estava instalado no apartamento a análise será da segunda seqüência de sete dias com a menor média das mínimas foi entre os dias 06 e 12 de agosto.

O gráfico da figura 96 permite a visualização da distribuição das temperaturas durante este período.

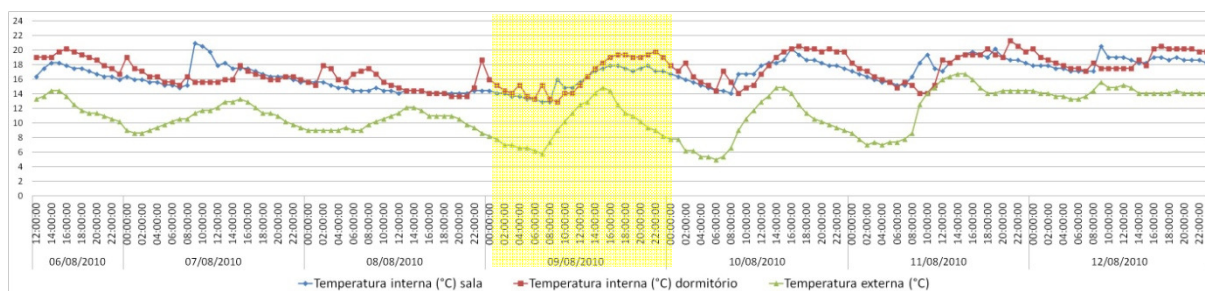


Figura 96 – Gráfico da variação da temperatura do ar durante a semana com a menor média de temperatura.

A média das mínimas diárias de temperatura calculada para esta semana foi de 7,74°C. A temperatura externa mínima registrada foi de 4,99°C às 6hs do dia 10 de agosto. O valor mínimo registrado na sala foi de 12,93°C e se repetiu em duas ocasiões, às 7hs e 8hs do dia 9 de agosto. No dormitório a temperatura mínima também foi de 12,93°C no dia 9 de agosto e ocorreu às 9hs.

A temperatura média do ar no exterior foi de 11,19°C enquanto que a média interna calculada foi de 16,75°C na sala e de 12,93°C no dormitório.

Durante a semana foram registradas variações de temperatura externa entre 2,3°C e 9,86°C, com uma média de 6,71°C. Já no interior a oscilação ficou entre 1,53°C e 6,1°C na sala, com uma amplitude média de 4,25°, e entre 3,81°C e 7,24°C no dormitório, com uma amplitude média de 6,43°C.

Dia com a menor média de temperatura.

O dia com a menor média de temperatura durante o período foi o dia 09 de agosto, onde a média calculada foi de 15,63°C na sala do apartamento, 16,39°C no dormitório e de 9,76°C no exterior do apartamento.

O valor mínimo de temperatura externa registrado durante o dia ocorreu às 7hs chegando ao limite de 5,81°C. Não houve atraso térmico em relação ao valor mínimo registrado na sala, já no dormitório verificou-se um atraso térmico de duas horas em relação a temperatura mínima registrada. O valor mínimo de temperatura

no interior do apartamento foi de 12,93°C e ocorreu na sala às 7hs e 8hs e no dormitório às 9hs.

O gráfico da figura 97 demonstra a variação da temperatura do ar no exterior e no interior do apartamento durante o dia.

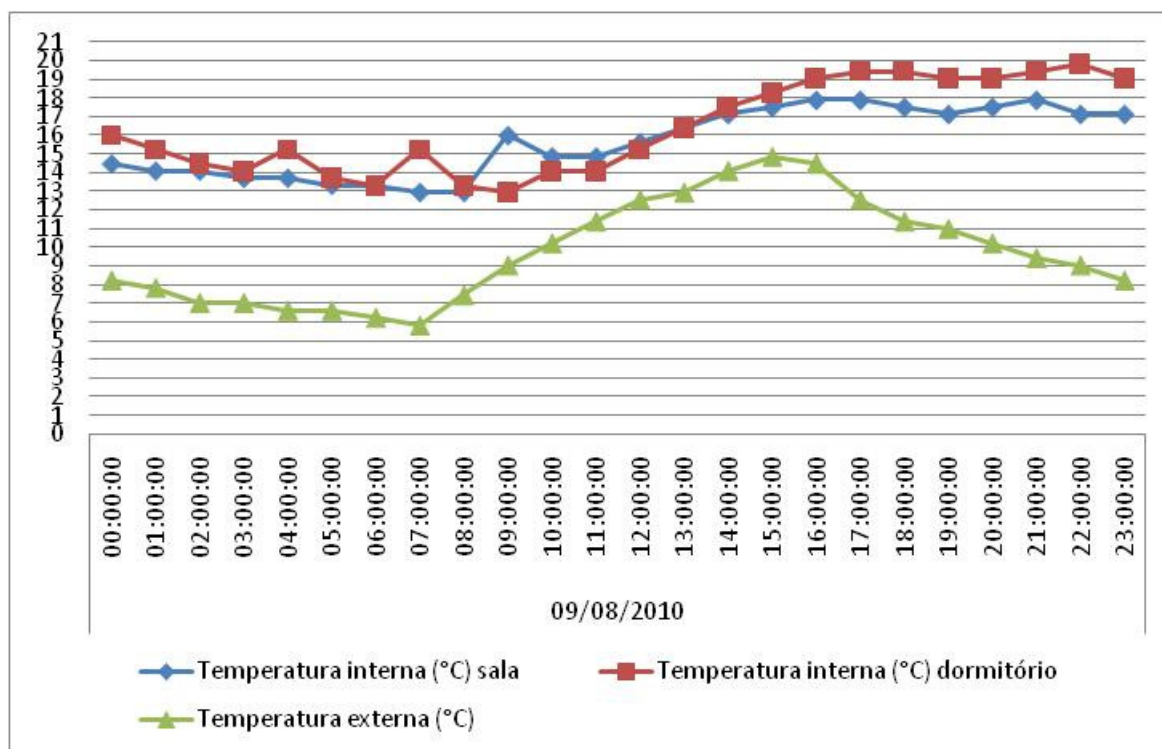


Figura 97 – Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a menor média de temperatura.

Maior amplitude térmica e o amortecimento proporcionado pela construção

A maior amplitude diária, durante o período de inverno analisado, ocorreu no dia 7 de junho com uma variação de 20,2°C em 8 horas.

Os valores externos variaram de 18,34°C a 38,54°C, enquanto que no interior do apartamento a temperatura máxima foi de 21,71°C na sala e de 22,48°C no dormitório, a temperatura mínima foi de 18,28°C na sala e de 17,14°C no dormitório.

O amortecimento térmico verificado foi de 16,83°C para as máximas e de 1,2°C para as mínimas.

O atraso térmico para as máximas foi de três horas no dormitório e de cinco horas na sala. Já para as mínimas o atraso térmico foi de duas horas na sala e de três horas no dormitório.

O gráfico da figura 98 demonstra a variação da temperatura do ar no exterior e no interior do apartamento.

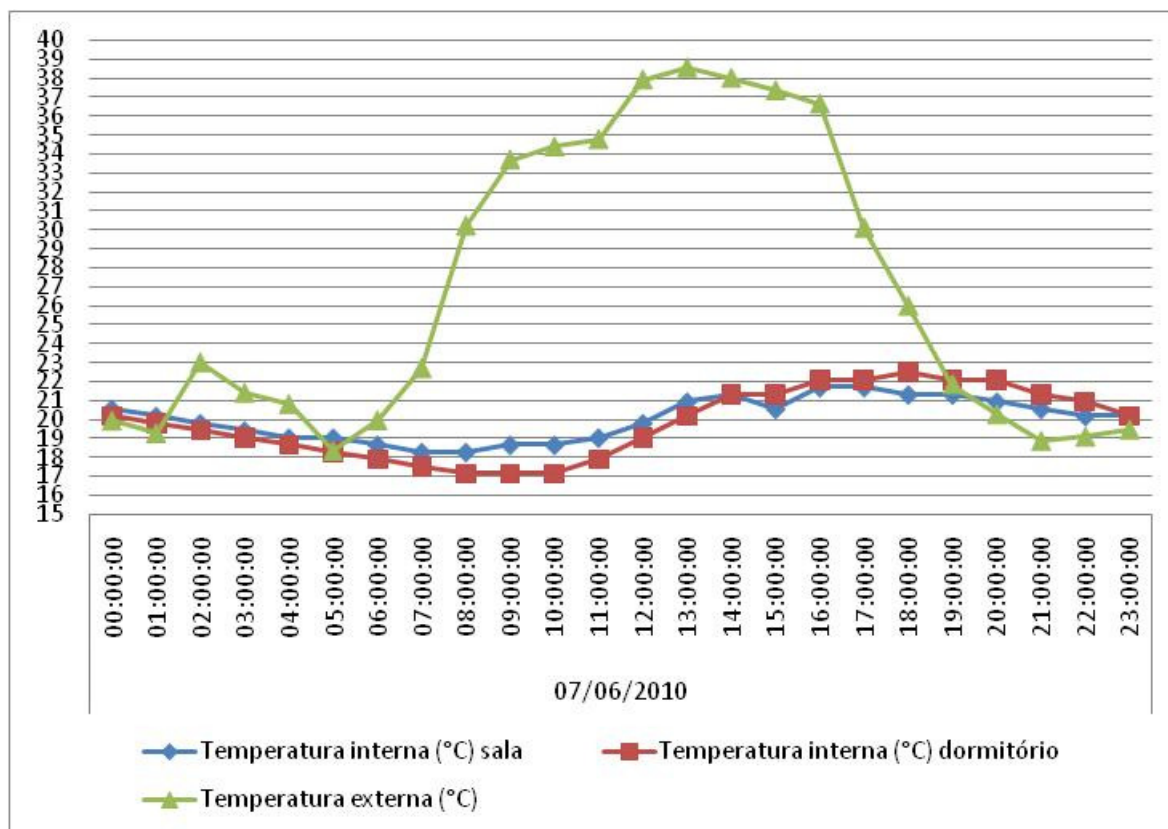


Figura 98 – Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a maior amplitude térmica.

4.4.3.2.2.

Graus-hora e grau-médio

A tabela 31 apresenta o somatório de graus-hora, o número de horas com temperatura fora dos limites das temperaturas-base e o grau-médio calculado, para o período de inverno.

Tabela 31 – somatório graus-hora para aquecimento.

Temperatura base	Temperatura interna			Temperatura externa		
	Graus-hora	n° de horas	Grau-médio	Graus-hora	n° de horas	Grau-médio
18°C	940,72	633	1,49	5321,38	1247	4,27

Em um total de 1590 horas, observa-se que no interior do apartamento ocorreram 633 horas abaixo da temperatura base de 18°C, as quais geraram um somatório de 940,72 graus-hora e um grau-médio de 1,49 enquanto que, externamente foram 1247 horas, com um somatório de graus-hora de 5321,38 e um grau-médio de 4,27.

Este apartamento reduziu tanto a intensidade do frio quanto a quantidade de horas de frio do exterior.

Na tabela 32 observa-se que mesmo o período analisado sendo de inverno, 46 horas ficaram acima da temperatura-base de 29°C nos registros de temperaturas externas, as quais geraram um somatório de 370,59 graus-hora e um grau-médio de 5,01.

Tabela 32 – Somatório graus-hora para refrigeração.

Temperatura base	Temperatura interna			Temperatura externa		
	Graus-hora	n° de horas	Grau-médio	Graus-hora	n° de horas	Grau-médio
29°C	-	-	-	191,51	46	4,16

4.4.3.2.3.

Carta bioclimática

As cartas bioclimáticas foram plotadas com os dados horários de temperatura e umidade relativa do ar, no ambiente da sala e no exterior do apartamento.

Através da carta bioclimática apresentada na figura 99 é possível observar a distribuição dos valores de temperatura e umidade relativa durante o período de inverno.

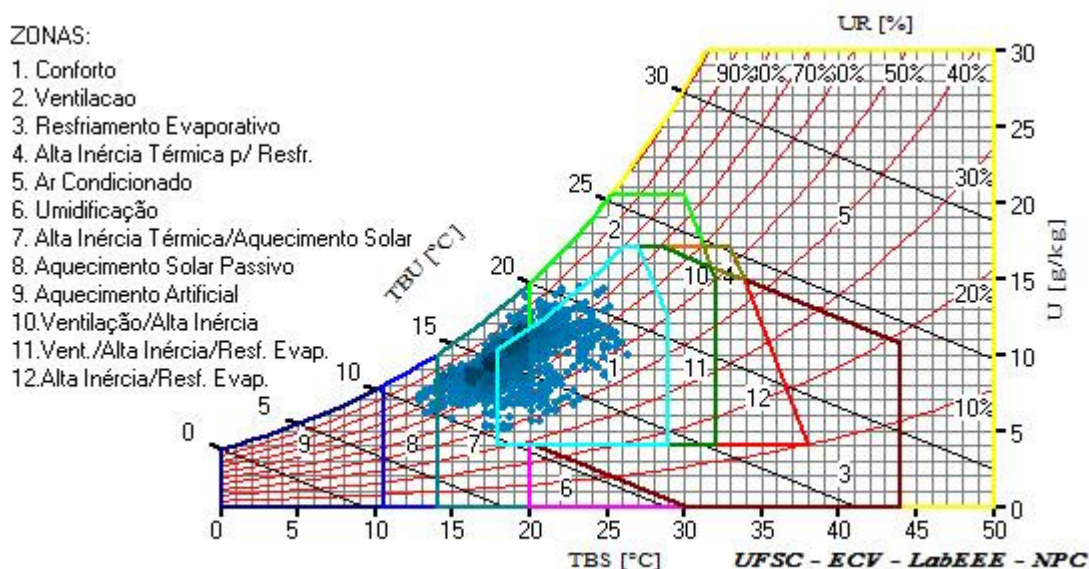


Figura 99 – Carta bioclimática com os dados da sala do período de 01 de junho a 11 de julho de 2010 e de 06 de agosto a 31 de agosto de 2010.

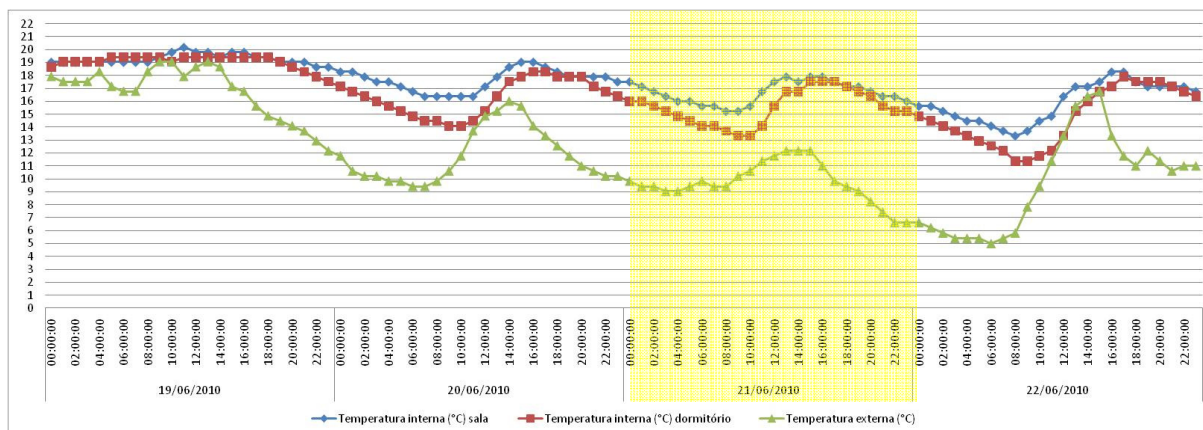


Figura 101 – Gráfico da variação da temperatura do ar no dia típico de inverno.

A norma estabelece que para desempenho mínimo o valor mínimo da temperatura do ar no interior dos ambientes de permanência prolongada deva ser maior que 12°C. A temperatura mínima registrada no interior do apartamento foi de 16,38°C na sala e de 14,85°C no dormitório, portanto atende ao critério de desempenho mínimo da NBR 15575. Fazendo a análise para atendimento do desempenho intermediário observa-se que a sala atende ao critério de manter a temperatura acima dos 15°C, mas o dormitório fica 0,15°C abaixo do limite. Seguindo a norma todos os ambientes deveriam ter temperatura maior ou igual a 15°C. Portanto, por muito pouco, esta unidade não atingiria o nível intermediário. Como a diferença é de apenas 0,15°C seria de bom senso arredondar o valor e considerar este apartamento como nível intermediário.

4.5. Análise dos resultados

4.5.1. Comparação dos empreendimentos – método prescritivo.

Através da avaliação realizada pelo método prescritivo, constatou-se que os empreendimentos atendem apenas em parte as diretrizes recomendadas pela NBR 15220 e NBR 15575.

A tabela 33 apresenta uma análise comparativa entre os empreendimentos em relação ao atendimento ou não aos requisitos estabelecidos pela NBR 15220.

Tabela 33 – Resumo do cumprimento das diretrizes recomendadas NBR 15220.

	Requisito	PAR Marcilio Dias	PAR Porto	PAR Solar das Palmeiras	PAR Regente
Aberturas	Área ventilação ($15\% < A < 25\%$)				
	Sombreamento (permitir sol durante o inverno)				
Paredes externas	Transmitância térmica – U ($W/^{\circ}C\ m^2$) $\leq 3,0$	 1,61	 2,45	 2,59	 2,59
	Atraso térmico ϕ (h) $\leq 4,3$	 5,90	 4,0	 3,18	 3,18
Cobertura	Transmitância térmica – U ($W/^{\circ}C\ m^2$) $\leq 2,0$	 2,10	 2,11	 2,11	 2,10
	Atraso térmico ϕ (h) $\leq 3,3$	 4,83	 4,8	 4,8	 4,83
Estratégias condicionamento térmico passivo	Ventilação cruzada				
	Aquecimento solar				
	Vedações internas pesadas				

 atendido

 parcialmente atendido

 não atendido

Observa-se que em todos os empreendimentos a maioria dos requisitos não são atendimentos. Em relação às características das aberturas e estratégias de condicionamento térmico passivo os empreendimentos ficaram muito aquém do recomendado, apenas o requisito de aquecimento solar é atendido em quatro dos cinco apartamentos avaliados.

Em relação às características térmicas dos elementos construtivos, as paredes externas na maioria atende ao limites estabelecidos com exceção do Marcílio Dias. Já em relação a cobertura nenhum dos requisitos é atendido.

A tabela 34 apresenta uma análise comparativa entre os empreendimentos em relação ao atendimento ou não aos requisitos estabelecidos pela NBR 15575.

Tabela 34 – Resumo do cumprimento das recomendações para desempenho térmico mínimo segundo a NBR 15575.

	Requisito	PAR Marcílio Dias	PAR Porto	PAR Solar das Palmeiras	PAR Regente
Fachadas e paredes internas					
Adequação paredes externas	Transmitância térmica – U (W/°C m²) ≤ 2,5	 1,61	 2,45	 2,59	 2,59
	Capacidade térmica KJ/(m².K) ≥ 130	 232	 203	 153	 153
ventilação dos ambientes internos	Área mínima para ventilação A ≥ 8%	 	 	 	
sombreamento das aberturas	Sombreamento dos vãos das janelas de dormitórios	 	 	 	
Coberturas					
Cobertura	Transmitância térmica – U (W/°C m²) ≤ 2,3	 2,10	 2,11	 2,11	 2,10
	Absortância térmica	s/exigência	s/exigência	s/exigência	s/exigência

Observa-se que, em relação à NBR 15575, os empreendimentos atendem à praticamente todos os requisitos estabelecidos. Apenas as características térmicas em relação à transmitância térmica das paredes externas dos conjuntos Solar da Palmeiras e Regente não atendem ao limite estabelecido. Outro item que estes apartamentos não atendem é a exigência de sombreamento das aberturas dos dormitórios.

4.5.2. Comparação dos empreendimentos – método medição.

4.5.2.1. Comportamento térmico no verão

4.5.2.1.1. Temperatura do ar

Nesta etapa do estudo foi realizada uma comparação, entre as análises apresentadas a partir dos dados obtidos nas medições para o período de verão.

O gráfico da figura 102 apresenta o comportamento médio da temperatura do ar nos empreendimentos na semana com a maior média de temperatura.

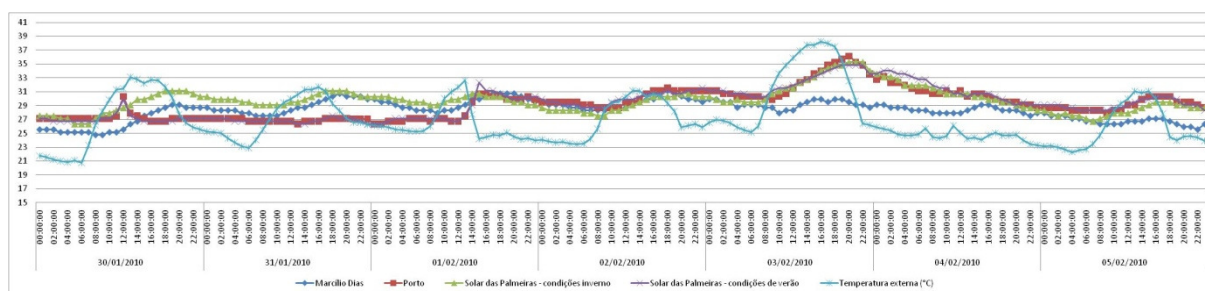


Figura 102 – Gráfico da variação da temperatura do ar durante na semana com a maior média de temperatura nos empreendimentos.

Observou-se que no PAR Marcílio Dias a edificação proporcionou um grande amortecimento térmico às oscilações da temperatura externas e manteve a temperatura interna praticamente constante durante a semana entre 26°C e 29°C.

Nos outros três empreendimentos as temperaturas tiveram um aumento significativo após a situação crítica que ocorreu no dia 03 de fevereiro, onde a máxima temperatura externa alcançou a casa dos 38°C, fazendo com que a temperatura interna destes apartamentos acompanhasse esta alta se mantendo com temperatura mais elevadas na sequência de dias.

O gráfico da figura 103 apresenta em detalhe a variação da temperatura no dia 03 de fevereiro que foi o dia que apresentou a maior média de temperatura durante todo o período de verão e está inserido na semana apresentada anteriormente.

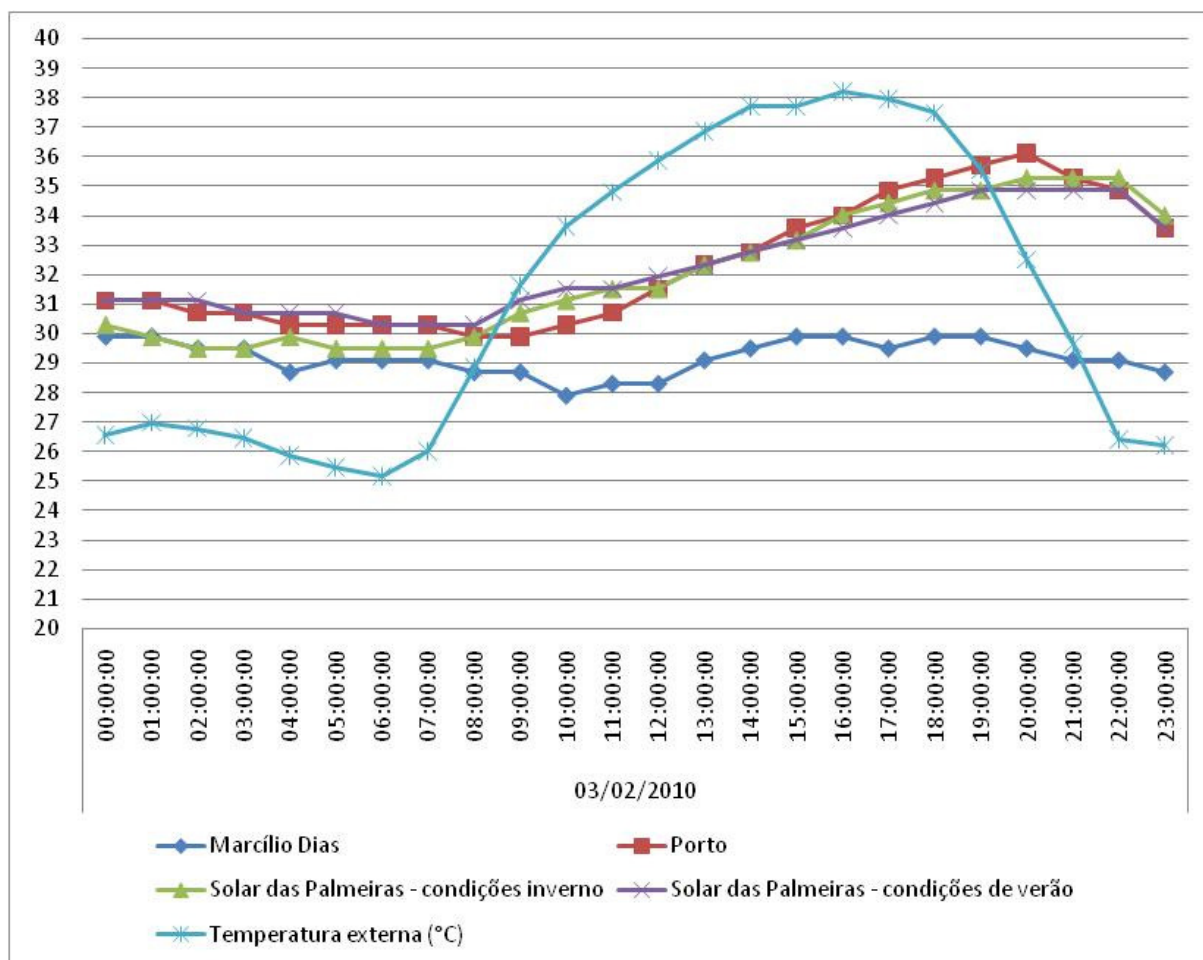


Figura 103 – Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a maior média de temperatura.

Durante este dia a temperatura externa chegou à casa dos 38°C, já no interior dos apartamentos tivemos a máxima de 29°C no PAR Marcílio Dias, 34,85°C no PAR Solar das Palmeiras (apto. condições de inverno), 35,27°C no PAR Solar das Palmeiras (apto. condições de verão) e 36,13°C no PAR Porto. Outro fator importante a favor o PAR Marcílio Dias é que no período de ocupação dos dormitórios sua temperatura está bem abaixo dos demais.

O dia com maior variação de temperatura, incluindo o mês de março no período mais quente do ano, foi o dia 24 março, nesta data a amplitude térmica chegou a 15,01°C em apenas 7 horas.

O gráfico da figura 104 apresenta o comportamento dos empreendimentos no dia de maior amplitude térmica.

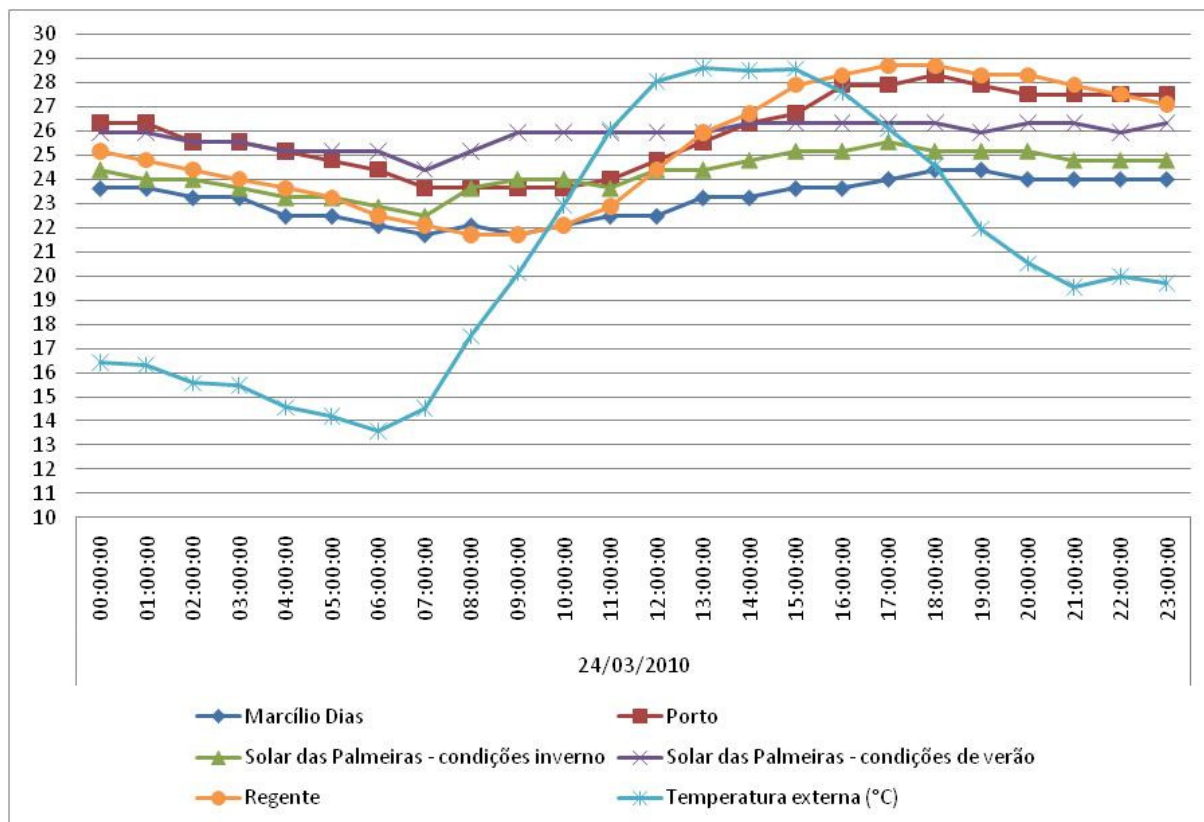


Figura 104 – Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a maior amplitude térmica.

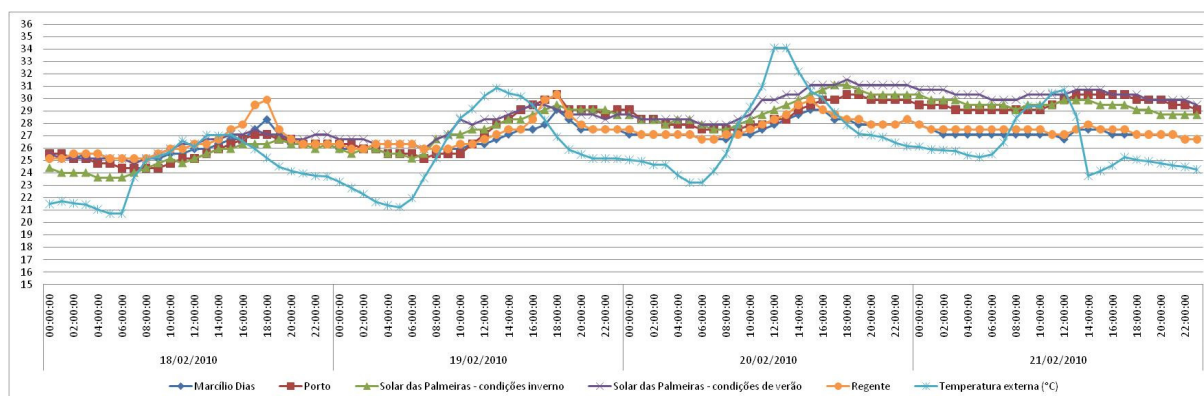


Figura 105 – Gráfico da variação da temperatura do ar no dia típico de verão.

4.5.2.1.2. Graus-hora e grau-médio

A tabela 35 apresenta o somatório de graus-hora, o número de horas com temperatura fora dos limites das temperaturas-base e o grau-médio calculado, para o período de verão em cada um dos apartamentos avaliados.

Tabela 35 – quadro resumo somatório graus-hora para refrigeração.

Graus-hora para refrigeração						
		Marcilio Dias	Porto	Solar Palmeiras (apto.inverno)	Solar Palmeiras (apto. verão)	Regente
Temperatura base 29 °C	Graus-hora	87,42	601,24	518,91	583,58	310,61
	n° de horas	171	435	425	415	327
	Grau-médio	0,51	1,38	1,22	1,41	0,95

Observa-se que o apartamento que apresentou o melhor desempenho térmico nesta avaliação foi o do PAR Marcilio Dias. Tomando-se como temperatura base 29 °C o apartamento apresentou 48% horas a menos de desconforto em relação ao apartamento do PAR Regente que apresentou o segundo menor valor de graus-médio. Fazendo a análise em relação ao grau-médio o apartamento do PAR Marcílio Dias apresentou um desempenho 63% melhor que o apartamento com condições de verão do PAR Solar das Palmeiras que apresentou o pior desempenho.

4.5.2.1.3. Carta bioclimática

Através da avaliação realizada pela Carta Bioclimática, constatou-se que os empreendimentos apresentam a maioria das horas de verão dentro da zona de conforto de Givoni (1992).

A tabela 36 apresenta uma análise comparativa entre os empreendimentos, observa-se que o apartamento do PAR Marcílio Dias foi o que apresentou o maior número de horas em situação de conforto, já o apartamento que apresentou o maior número de horas de desconforto por calor foi o apartamento do PAR Porto, onde verificou-se 43,30% das horas fora da zona de conforto.

Tabela 36 – Quadro resumo condições de conforto no verão – Carta Bioclimática.

Avaliação Carta Bioclimática - período verão					
	Marcilio Dias	Porto	Solar Palmeiras (apto. inverno)	Solar Palmeiras (apto. verão)	Regente
conforto	82,86%	56,70%	68,40%	58,60%	76,85%
desconforto por calor	17,14%	43,30%	31,60%	41,60%	23,15%

4.5.2.1.4. NBR 15575

Através da avaliação realizada pelo método de medição descrito pela NBR 15575, constatou-se que todos os apartamentos avaliados atendem ao requisito estabelecido para o desempenho térmico mínimo. Já na análise feita para verificação do atendimento ao requisito intermediário nenhum dos apartamentos atendeu o recomendado pela norma.

A tabela 37 apresenta uma análise comparativa entre os apartamentos dos quatro empreendimentos avaliados.

Tabela 37 – Quadro resumo condições de conforto no verão – NBR 15575.

Avaliação pela NBR 15575 - método medição						
	Desempenho	Marcilio Dias	Porto	Solar Palmeiras (apto.inverno)	Solar Palmeiras (apto. verão)	Regente
Dia típico de verão - 20 de fevereiro	mínimo	atende	atende	atende	atende	atende
	intermediário	não atende	não atende	não atende	não atende	não atende
	superior	não atende	não atende	não atende	não atende	não atende

Os apartamentos dos condomínios PAR Marcílio Dias e Regente apresentaram comportamento semelhantes e bastante superiores aos PAR Porto e Solar das Palmeiras durante o período de verão.

4.5.2.2. Comportamento térmico no inverno

4.5.2.2.1. Temperatura do ar

Nesta etapa do estudo foi realizada uma comparação, entre as análises apresentadas a partir dos dados obtidos nas medições para o período de inverno.

O gráfico da figura 106 apresenta o comportamento médio da temperatura do ar nos empreendimentos na semana com a menor média de temperatura.

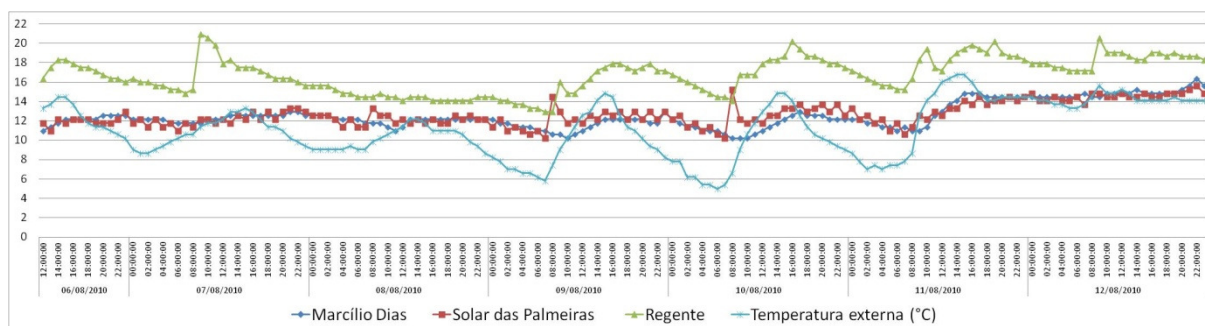


Figura 106 – Gráfico da variação da temperatura do ar durante a semana com a menor média de temperatura nos empreendimentos.

Observou-se que no PAR Regente as temperaturas internas se mantiveram durante toda a semana mais elevadas que as temperaturas externas, possivelmente por este possuir paredes externas com orientação nordeste e noroeste, e todas as janelas estão voltadas para o noroeste, o que proporciona uma radiação solar de 3455 W/m^2 no solstício de inverno.

No PAR Marcílio Dias e no PAR Solar das Palmeiras nota-se que a edificação proporcionou um amortecimento térmico em relação às oscilações da temperatura externa, quando esta apresentou quedas nos horários da madrugada, e manteve a temperatura interna praticamente constante durante a semana entre 11°C e 15°C . Entretanto salienta-se que este intervalo de temperatura fica abaixo do limite de conforto de 18°C .

O gráfico da figura 107 apresenta em detalhe a variação da temperatura no dia 09 de agosto que foi o dia que apresentou a menor média de temperatura durante todo o período de inverno e está inserido na semana apresentada anteriormente.

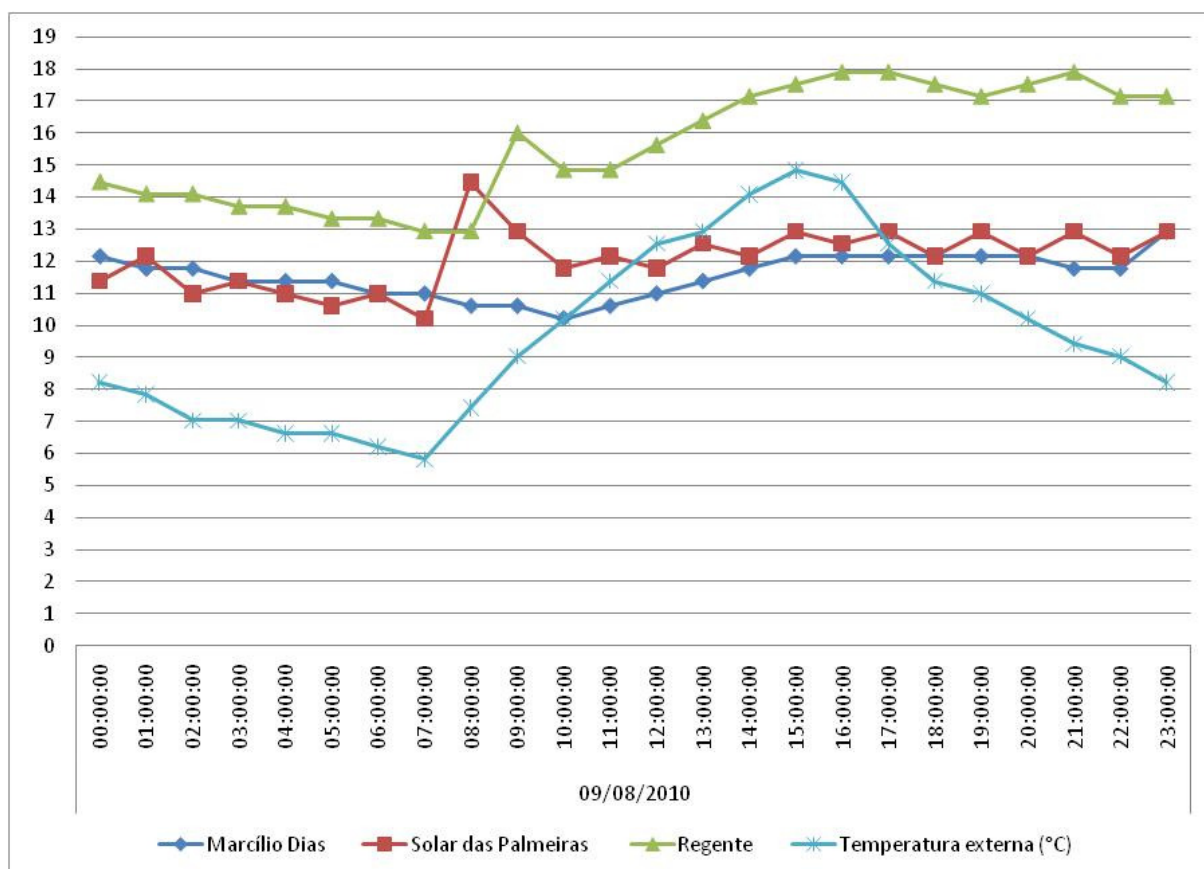


Figura 107 – Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a menor média de temperatura.

Durante este dia a temperatura externa mínima chegou à casa dos 5,81 °C, já no interior dos apartamentos tivemos a mínima de 10,21 °C no PAR Marcílio Dias, 11,77°C no PAR Solar das Palmeiras e 12,93°C no PAR Regente. Observa-se que o PAR Marcílio Dias e o PAR Solar das Palmeiras mantiveram as temperaturas mais constantes durante o dia, sendo levemente mais baixas no PAR Marcílio Dias. No PAR Regente as temperaturas se mantiveram mais elevadas e observa-se que mais suscetíveis as oscilações externas de temperatura, aproveitando o calor externo para aquecer o ambiente interno.

Salienta-se que, mesmo os apartamentos do PAR Regente e do PAR Solar das Palmeiras apresentarem paredes externas com as mesmas características térmicas o PAR Regente apresentou melhor desempenho térmico, isto ocorre em função da sua adequada orientação solar no quadrante norte.

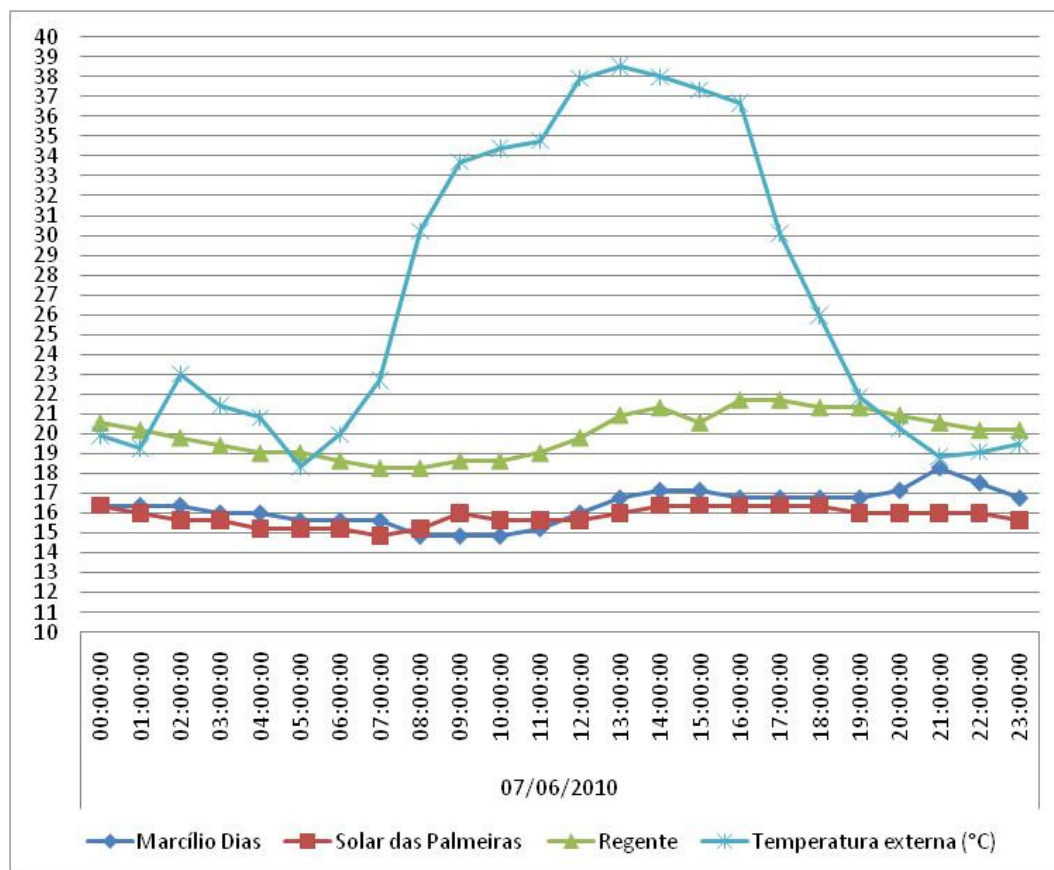


Figura 108 – Gráfico da variação da temperatura do ar no dia com a maior amplitude térmica.

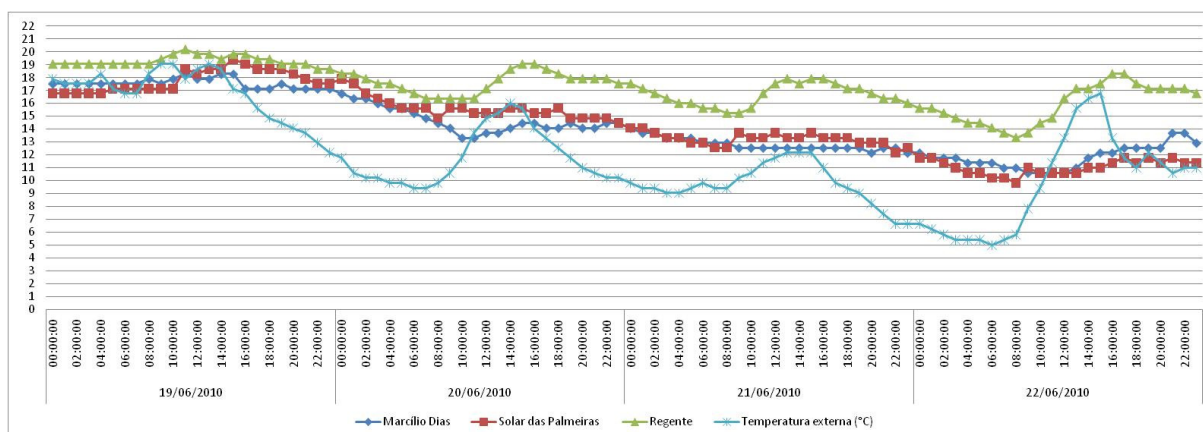


Figura 109 – Gráfico da variação da temperatura do ar no dia típico de inverno.

4.5.2.2.2. Graus-hora e grau-médio

A tabela 38 apresenta o somatório de graus-hora, o número de horas com temperatura fora do limite da temperatura-base e o grau-médio calculado, para o período de inverno em cada um dos apartamentos avaliados.

Tabela 38 – Quadro resumo somatório graus-hora para aquecimento.

Graus-hora para aquecimento				
		Marcilio Dias	Solar Palmeiras (apto. inverno)	Regente
Temperatura base 18°C	Graus-hora	3720,23	7348,12	940,72
	n° de horas	1325	1917	633
	Grau-médio	2,81	3,83	1,49

Observa-se que o apartamento que apresentou o melhor desempenho térmico sob esta avaliação foi o do PAR Regente que apresentou 52% horas a menos de desconforto em relação ao apartamento do PAR Marcilio Dias e 66% horas a menos em relação ao apartamento do PAR Solar das Palmeiras.

Fazendo a análise em relação ao grau-médio o apartamento do PAR Regente apresentou um desempenho 46% melhor que o PAR Marcilio Dias e 61% melhor que o PAR Solar das Palmeiras.

4.5.2.2.3. Carta bioclimática

Através da avaliação realizada pela Carta Bioclimática, constatou-se que todos os apartamentos avaliados apresentam a maioria das horas de inverno fora da zona de conforto de Givoni (1992).

A tabela 39 apresenta uma análise comparativa entre os empreendimentos, observa-se que o apartamento do PAR Regente foi o que apresentou o maior número de horas em situação de conforto, já o apartamento que apresentou o maior número de horas de desconforto por frio foi o apartamento do PAR Solar das Palmeiras, onde verificou-se 89,50% das horas fora da zona de conforto.

Tabela 39 – Quadro resumo condições de conforto no inverno – Carta Bioclimática.

Avaliação Carta Bioclimática - período inverno			
	Marcilio Dias	Solar Palmeiras (apto. inverno)	Regente
conforto	10,85%	10,50%	46,42%
desconforto por frio	89,15%	89,50%	53,58%
desconforto por calor	-	-	2,20%

4.5.2.2.4. NBR 15575

Através da avaliação realizada pelo método de medição descrito pela NBR 15575, constatou-se que os apartamentos do PAR Marcílio Dias e do PAR Regente atendem ao requisito estabelecido para o desempenho térmico mínimo. Na análise feita para verificação do atendimento ao requisito intermediário apenas o PAR Regente apresentou condições de atender este nível. Já o apartamento do PAR Solar das Palmeiras não atendeu nem ao requisito para desempenho mínimo apresentando, portanto desempenho térmico insuficiente pela avaliação realizada pela NBR 15575.

A tabela 49 apresenta uma análise comparativa entre os apartamentos dos três empreendimentos avaliados.

Tabela 40 – Quadro resumo condições de conforto no inverno – NBR 15575.

Avaliação pela NBR 15575 - método medição				
	Desempenho	Marcilio Dias	Solar Palmeiras (apto. inverno)	Regente
Dia típico de inverno - 21 de junho	mínimo	atende	não atende	atende
	intermediário	não atende	não atende	atende
	superior	não atende	não atende	não atende

4.5.3. Resumo resultados método medição

As tabelas 41 e 42 apresentam um resumo dos resultados obtidos através da análise dos dados medidos nos apartamentos, além das características construtivas e orientação solar de cada um dos apartamentos monitorados.

Verão

Tabela 41 – Quadro resumo condições de conforto no verão, orientação solar e características construtivas.

	Graus-hora refrigeração	Carta Bioclimática (% horas conforto)	NBR 15575 desempenho mínimo	NBR 15575 desempenho intermediário	NBR 15575 desempenho máximo
Marcílio Dias sul - leste tijolos furados espessura 25cm telhas cerâmicas	87,42	82,86%	atende	não atende	não atende
Porto norte - oeste blocos cerâmicos espessura 19cm telhas fibrocimento	601,24	56,70%	atende	não atende	não atende
Solar das Palmeiras (apto. inverno) leste - sul oeste – norte blocos cerâmicos espessura 16,5cm telhas fibrocimento	518,91	68,40%	atende	não atende	não atende
Solar das Palmeiras (apto.verão) oeste-norte leste-sul blocos cerâmicos espessura 16,5cm telhas fibrocimento	583,58	58,60%	atende	não atende	não atende
Regente nordeste - noroeste blocos cerâmicos espessura 16,5cm telhas cerâmicas	310,61	58,60%	atende	não atende	não atende

Inverno

Tabela 42 – Quadro resumo condições de conforto no inverno, orientação solar e características construtivas.

	Graus-hora refrigeração	Carta Bioclimática (% horas conforto)	NBR 15575 desempenho mínimo	NBR 15575 desempenho intermediário	NBR 15575 desempenho máximo
<u>Marcílio Dias</u> <u>sul - leste</u> tijolos furados espessura 25cm telhas cerâmicas	3720,23	10,85%	atende	não atende	não atende
<u>Solar das Palmeiras</u> <u>(apto. inverno)</u> <u>leste - sul</u> <u>oeste – norte</u> blocos cerâmicos espessura 16,5cm telhas fibrocimento	7348,12	10,50%	não atende	não atende	não atende
<u>Regente</u> <u>nordeste - noroeste</u> blocos cerâmicos espessura 16,5cm telhas cerâmicas	940,72	46,42%	atende	atende	não atende

5. CONCLUSÕES

O estudo proposto apresenta uma síntese do desempenho térmico de habitações de interesse social construídas em Pelotas/RS pelo Programa de Arrendamento Residencial.

Através das etapas de trabalho realizadas foram identificados todos os empreendimentos executados pelo programa e as características construtivas dos que possuem tipologia de edifícios multifamiliares que variam entre quatro e cinco pavimentos.

Foram identificados cinco diferentes sistemas construtivos, com diferentes características térmicas de transmitância térmica e capacidade térmica das paredes e coberturas, o que se reflete no desempenho térmico das unidades habitacionais.

As avaliações foram realizadas em quatro dos cinco diferentes sistemas construtivos identificados, visto que, em função dos usuários, não foi possível a instalação dos equipamentos no PAR Alta Vista.

Nas análises prescritivas constatou-se que os edifícios atendem em parte as exigências das normas NBR 15220 e NBR 15575. Salientando que em relação aos parâmetros da NBR 15220 a maioria das exigências não são atendidas.

Entre todos os apartamentos monitorados o que apresentou o melhor desempenho no período de inverno foi o do PAR Regente. Este resultado confirma a importância de uma adequada orientação solar dos compartimentos de permanência prolongada e de suas aberturas visto que, o apartamento monitorado possui orientações no quadrante norte, o que proporcionou o melhor desempenho no inverno e também um bom desempenho no verão.

O apartamento que apresentou melhor desempenho durante o verão foi o PAR Marcílio Dias, o que confirma a importância das características térmicas das paredes externas, sendo recomendados valores menores de transmitância térmica e maiores de capacidade térmica. Cabe destacar que este apartamento foi o único que ficou com o valor de atraso térmico das paredes externas fora do recomendado pela

NBR 15575 e mesmo assim apresentou o melhor desempenho térmico de verão, o que aponta a necessidade de realização de outros estudos mais específicos sobre a questão.

Comparando dois dos apartamentos monitorados que possuem as mesmas características térmicas das paredes externas, PAR Regente e PAR Solar das Palmeiras, o PAR Regente apresentou um melhor desempenho no inverno em função da orientação solar adequada.

No verão o PAR Regente equipara-se ao desempenho do PAR Marcilio Dias mesmo tendo as paredes externas mais leves, também em virtude da adequada orientação no quadrante norte.

No caso específico do PAR Solar das Palmeiras constatou-se que os dois apartamentos apresentaram um desempenho semelhante, mesmo possuindo orientações opostas. Acredita-se que isto tenha ocorrido pelo fato de que existe uma densa massa de vegetação que propicia sombreamento na orientação oeste. Sendo assim aponta-se que o uso de vegetação adequada no entorno das edificações pode ser fator importante no desempenho térmico do edifício, pois com a utilização de uma vegetação com comportamento caduca no inverno, pode-se propiciar um sombreamento no verão e a possibilidade de receber a radiação solar no inverno.

Verificou-se que o período de desconforto térmico é significativamente mais elevado devido ao frio do que ao calor. Visto isso, às alterações que visem à melhoria das condições de conforto térmico das edificações devem levar em consideração este fator. Sendo assim é recomendada uma maior preocupação com as estratégias de condicionamento térmico passivo que propiciem o aumento da temperatura interna no período de inverno, obtendo um melhor aproveitamento do calor proporcionado pela radiação solar, com o aumento da inércia térmica interna da edificação combinado a uma orientação solar adequada.

Observou-se que não existe uma preocupação com o isolamento das coberturas e que todos os edifícios analisados não apresentam as exigências mínimas de transmitância térmica recomendadas pela NBR 15220.

Foi observado ainda, que os apartamentos não conseguem se beneficiar da estratégia de ventilação cruzada adequadamente, pois, quando a temperatura externa baixa no período da noite as temperaturas internas não acompanham este comportamento com a mesma proporção.

Alterações de projeto como o uso de dispositivo de sombreamento nos ambientes de permanência prolongada, disposição dos ambientes e aberturas de forma que propiciem a estratégia de ventilação cruzada e aquecimento solar passivo poderiam elevar o nível de desempenho dos apartamentos.

Cuidados com a implantação, insolação, ventilação e uso de materiais adequados às condições climáticas podem fazer muita diferença na melhoria das condições de conforto, e questões econômicas não podem servir como justificativa para projetos arquitetônicos inadequados.

Sendo assim, podemos citar como principais orientações a serem consideradas para elaboração de projetos arquitetônicos com mais qualidade:

- Orientação solar dos ambientes de permanência prolongada e suas aberturas, no quadrante norte;
- Vedações externas com baixa transmitância térmica;
- Estratégia de ventilação cruzada para melhoria do condicionamento térmico natural dos ambientes;
- Uso de dispositivos de sombreamento nas esquadrias, principalmente nos ambientes de permanência prolongada.

Sugestões para trabalhos futuros

- Avaliação do desempenho térmico em apartamentos localizados em níveis intermediários e térreo, assim como em orientações mais adequadas, visto que a metodologia na NBR 15575 indica que as avaliações devem ser realizadas nos apartamentos em piores condições para verão e inverno;
- Verificação da influência do atraso térmico das paredes externas no desempenho térmico das edificações inseridas na Zona Bioclimática 2.
- Definição da quantidade mínima de radiação solar para que se possa considerar que a estratégia de aquecimento solar passivo esteja atendida e propicie um relevante aquecimento do ambiente.

- Realização de simulações computacionais com objetivo de verificação e entendimento do papel e da interferência do usuário no condicionamento natural da edificação.

Referências Bibliográficas

ARAÚJO, Virgínia Maria Dantas de. **Parâmetros de conforto térmico para usuários de edificações escolares no litoral nordestino brasileiro**. 1996. Tese (Doutorado – Faculdade de Arquitetura e urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12220. **Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, 2005. 66p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575. **Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos**. Rio de Janeiro, 2008. 196p.

AKUTSU, Maria et al. **Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações**. Ouro Preto: In: Revista Escola de Minas, 2005.

AKUTSU, Maria et al. **Método expedito para avaliação do desempenho térmico de habitações**. Gramado: In: III Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 1995b. pp. 299-304.

AKUTSU, Maria et al. **Critérios mínimos de desempenho de habitações térreas unifamiliares**. Anexo 5: conforto térmico Relatório técnico n° 33.800. São Paulo: IPT, 1995.

AKUTSU, Maria; VITTORINO, Fúlvio. **A tendência atual dos métodos de avaliação do desempenho térmico e energético de edificações**. Salvador: In: IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 1997. pp. 147-151.

AKUTSU, Maria; VITTORINO, Fúlvio. **Critérios para a definição de níveis de desempenho térmico de edificações**. Florianópolis: In: II Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 1993. pp. 69-74.

AKUTSU, Maria; VITTORINO, Fúlvio. **Proposta de procedimento para avaliação do desempenho térmico de edificações condicionadas e não condicionadas**. Florianópolis: In: Encontro Nacional de Normalização Ligada ao Uso Racional de Energia e ao Conforto Ambiental em Edificações, 1991a. pp. 157-171.

AKUTSU, Maria et al. **Desempenho térmico de edificações habitacionais e escolares: manual de procedimento para avaliação**. São Paulo: IPT Publicação n° 1732, 1987. 74p.

BARBOSA, Miriam Jerônimo. **Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico em edificações residenciais unifamiliares**. 1997. 277f. Tese (Doutorado - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

BONDUKI, Nabil. **Origens da habitação social no Brasil. Arquitetura moderna, Lei do Inquilinato e difusão da casa própria**. 4ª ed. São Paulo : Estação Liberdade: FAPESP, 1998. 344p.

BUTERA, Frederico M. **Da caverna à casa ecológica: história do conforto e da energia**. 1ª ed. São Paulo : Nova Técnica Editorial, 2009. 319p.

CORBELLA, Oscar e YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos - conforto ambiental**. Rio de Janeiro : Revan, 2003. 288p.

CUNHA, Eduardo Grala da. 2006. **Elementos de arquitetura de climatização natural: método projetual buscando a eficiência nas edificações**. 2ª ed. Porto Alegre : Masquatro Editora, 2006. 188p.

CURCIO, Daniela da Rosa; SILVA, Antônio Cesar SilveiraBaptista da. 2009. **Análise qualitativa do desempenho térmico de empreendimento de Habitação de Interesse Social na cidade de Pelotas - RS**. Natal : In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Anais em CD-ROM, 2009. pp. 978-987, 10p.

DAMÉ, Livia. **Habitação PAR, desempenho Ímpar? Uma avaliação Funcional de Unidades Multifamiliares em Pelotas/RS**. 2008. 84f. Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

DUMKE, Eliane. **Avaliação do desempenho térmico em sistemas construtivos da Vila Tecnológica de Curitiba como subsídio para a escolha de tecnologias apropriadas em Habitação de Interesse Social**. 2002. 230f. Dissertação (Mestrado

– Programa de Pós-graduação em Tecnologia) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba.

FANGER, Povl Ole. **Thermal comfort, analysis and application in enviromental engineering**. s.l. : McGraw-Hill, 1972.

FROTA, Anesia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico**. 8ª ed. São Paulo : Studio Nobel, 2003. 243p.

GHISI, Enedir; et al. Normalização em conforto ambiental: desempenho térmico, lumínico e acústico de edificações. In: BONIN, Luis Carlos; ROMAN, Humberto. **Normalização e Certificação na Construção Habitacional**. Porto Alegre : ANTAC - Coletânea Habitare, 2003. P16-41.

GIVONI, Baruch. **Man, climate and architecture**. London : Applied Science Publisher, Ltda, Elsevier, 1976. 483p.

GIVONI, Baruch. **Climate considerations in buildings and urban design**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1997. 464p.

GOULART, Solange V. G. **Dados cilmáticos para avaliação para avaliação de Desempenho Térmico de Edificações em Florianópolis**. 1993. 111f. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

GOULART, Solange V. G. et al. 1994. **Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico**. Relatório Interno n° 02/94, Núcleo de Pesquisa em Construção, UFSC, Florianópolis, SC.

GRIGOLETTI, Giane de Campos. **Método de avaliação de desempenho higrotérmico de habitações térreas unifamiliares de interesse social para Porto Alegre - RS**. 2007. 236f. Tese (Doutorado - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – NORIE) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL – INMETRO. Portaria n.º 449, de 25 de novembro de 2010. Aprova o

Regulamento Técnico da Qualidade RTQ-R para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, disponível em <www.inmetro.gov.br>.

KOENIGSBERGER, Otto H. et al. **Manual of Tropical Housing and Building. Part one: Climatic Design**. London : Longman, 1973.

LAMBERTS, Roberto et al. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo : Prolivros, 2004. 192p.

LASSAROTTO, Néborá; SANTOS, Joaquim César Pizzutti. **Avaliação do Conforto Térmico de Estudantes do Ensino Fundamental na região do nordeste do RS**. Ouro Preto/MG: In IX Encontro Nacional e V Encontro Latino Americano no Ambiente Construído, 2007. pp. 1038-1046. 9p.

MARTINS, Davi; RAU, Sabrina; RECKZIEGEL, Simone; FERRUGEM, Anderson; SILVA, Antônio. C. S. B. **Ensaio sobre a utilização da automação de aberturas na simulação do desempenho térmico de edificações**. Natal: In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Anais em CD-ROM, 2009. pp. 865-874, 10p.

MEDVEDOVSKI, Nirce Saffer; ROESLER, Sara; COSWIG, Mateus Treptow. **Histórico e caracterização da implantação do Programa PAR no município de Pelotas-RS: análise dos fatores de sucesso**. São Paulo: In NUTAU. 2006. 10p.

MENEZES, Milton Serpa. **Avaliação do desempenho térmico de habitações sociais de Passo Fundo – RS**. 2006. 119f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Política Nacional de Habitação**. Brasília, 2004. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/ministerio-das-cidades/biblioteca/cadernos-do-ministerio-das-cidades>> Acesso em maio de 2008.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Eficiência Energética em Habitações de Interesse Social**. Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/ministerio-das-cidades/biblioteca/cadernos-do-ministerio-das-cidades>> Acesso em maio de 2008.

MORELLO, Alessandro. **Avaliação do comportamento térmico do Protótipo Habitacional Alvorada**. 2005. 178f. Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-graduação em engenharia civil – NORIE) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto alegre.

OLGYAY, Victor. **Progettare com il clima**. Padova: franco muzzio editore, 1990. 330p.

ONSET HOBO Data Loggers. Disponível em <<http://www.onsetcomp.com/>> Acesso em maio de 2011.

PRIETTO, Pedro Luis. **Dados climáticos de Pelotas**. Apostila datilografada, 1988. 17p.

RIVERO, Roberto. **Arquitetura e Clima: acondicionamento térmico natural**. 2ª ed. Porto Alegre : D.C. Luzzatto Editores, 1986. 240p.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. **Arquitetura bioclimática do espaço público**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2007. 226p.

RORIZ, Maurício et al. **Uma proposta de norma técnica brasileira sobre desempenho térmico de habitações populares**. Fortaleza : In: V ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Anais em CD-ROM, 1999. pp. artigo n.288, 8p.

ROTTA, Renata. **Desempenho térmico de edificações multifamiliares de interesse social em conjuntos habitacionais na cidade de Santa Maria - RS**. 2009. 132f. Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SILVA, Antônio Cesar Silveira Baptista da. **Zoneamento Bioclimático Brasileiro para fins de Edificação**. 1994. Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

VIEIRA, Renata Dias; MEDVEDOVSKI, Nirce Saffer; SCHELLIN, Luciele de Lima; COSWIG, Mateus Treptow. **Caracterização do usuário do PAR em Pelotas: uma**

análise de apoio ao processo de gestão condominial pós-arrendamento.

Pelotas: In: XVII Congresso de Iniciação Científica X Encontro de Pós-Graduação. 2008. 5p.

VITRÚVIO. **Tratado de Arquitetura**. São Paulo : Martins Fontes, 2007. 556p.

VOLTANI, Eder Ricardo. **Avaliação do conforto térmico em indústrias de calçados. Campinas/SP**. 2009. 118f. Dissertação (Mestrado - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

XAVIER, Antonio Augusto de Paula; LAMBERTS, Roberto. **Temperatura interna de conforto e porcentagem de insatisfeitos para atividade escolar: Diferença entre a teoria e a prática**. Salvador: In: IV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Anais em CD-ROM, 1997. pp. 198-204, 6p.

XAVIER, Antonio Augusto de Paula. **Predição de conforto térmico em ambientes internos com atividade sedentária. Teoria física aliada a estudos de campo**. 2000. 251f. Tese (Doutorado – Faculdade de Engenharia de Produção e Sistemas) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.