

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA -
UFSC
PPGEC – PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL

DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES DE
INTERESSE SOCIAL COM DIFERENTES SISTEMAS
CONSTRUTIVOS EM SANTA CATARINA.

Dissertação submetida à
Universidade Federal de Santa
Catarina como requisito parcial
exigido pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Civil -
PPGEC, para a obtenção do Título
de MESTRE em Engenharia Civil.

THIAGO DO PRADO LOPES

Orientador: Roberto Lamberts, PhD.

Coorientadora: Solange V. G. Goulart, PhD.

Florianópolis, Março de 2010.

LOPES, Thiago do Prado. **Desempenho térmico de habitações de interesse social com diferentes sistemas construtivos em Santa Catarina**. Florianópolis, 2009. 128 pgs. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Roberto Lamberts, PhD.

Coorientadora: Solange V. G. Goulart, PhD.

Defesa: 15/dez/09

Foi avaliado o desempenho térmico de três edificações unifamiliares e três edificações multifamiliares de interesse social, construídas através de políticas públicas de habitação em cinco municípios do estado de Santa Catarina. As unidades habitacionais foram monitoradas durante sua utilização normal e foram registradas as temperaturas de bulbo seco do ar nos ambientes internos e externos às edificações. Foram também calculadas as propriedades térmicas dos elementos e sistemas construtivos e os valores encontrados verificados de acordo com os limites estabelecidos nas normas brasileiras de desempenho NBR 15.220 e NBR 15.575. As edificações multifamiliares foram monitoradas por nove meses (set 08 a jun 09) e as unifamiliares por sete meses (nov 08 a jun 09). Foram feitas análises durante uma semana quente e uma semana fria, escolhidas dentro do período total monitorado, usando os parâmetros de distribuição de temperaturas, temperaturas máximas, mínimas e médias, amplitude térmica e amortecimento térmico. Considerando o período total de monitoramento, foram analisados os somatórios de graus-hora acima e abaixo de limites pré-estabelecidos e a relação entre o somatório de graus-hora interno e externo. Para o verão os piores desempenhos foram do sistema de alvenaria convencional para as edificações multifamiliares e o sistema de placas de concreto para as edificações unifamiliares. No inverno o pior desempenho foi verificado para o sistema de blocos estruturais de concreto entre as multifamiliares e na residência de madeira entre as unifamiliares.

DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES DE INTERESSE
SOCIAL COM DIFERENTES SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM
SANTA CATARINA.

THIAGO DO PRADO LOPES

Dissertação julgada adequada para a obtenção do Título de MESTRE em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC.

Prof^a. Dr^a. Janaíde Cavalcante Rocha – Coordenadora do PPGEC/UFSC

Roberto Lamberts, PhD – Orientador – ECV/UFSC

Solange Goulart, PhD – Coorientadora – ECV/UFSC

COMISSÃO EXAMINADORA:

EneDir Ghisi, PhD – ECV/UFSC

Carlos Alejandro Nome, PhD – ARQ/UFSC

Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos, Dr. – UFSM

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento desta pesquisa só foi possível graças ao envolvimento e dedicação de muitas pessoas que de forma direta ou indireta participaram das diversas etapas necessárias à realização deste trabalho.

Além das pessoas citadas, existem outras que também merecem meus agradecimentos e que também ajudaram no cumprimento dessa missão.

Agradeço a Deus pelas experiências de vida, pela serenidade e plenitude com as quais me permite seguir meu caminho.

Ao professor Roberto Lamberts pela orientação e oportunidade de realização da pesquisa.

À Solange Goulart pela orientação, sabedoria e paciência com que me guiou durante esse trabalho.

À professora Janaíde Cavalcante Rocha pelo incentivo e apoio à minha participação em discussões da comunidade acadêmica, através do projeto REDE FINEP.

A toda equipe do LabEEE pela troca de informações que valorizaram ainda mais a pesquisa.

À minha família pela educação, suporte e amor a mim dedicados desde meu primeiro dia neste mundo.

À Bruna Muller Amorim pela compreensão às minhas ausências e pelo carinho e amor com que cuidou de mim.

E finalmente aos moradores das unidades habitacionais pesquisadas, que sempre me receberam muito bem, pela boa vontade e colaboração com a realização da pesquisa.

RESUMO

Foi avaliado o desempenho térmico de três edificações unifamiliares e três edificações multifamiliares de interesse social, construídas através de políticas públicas de habitação em cinco municípios do estado de Santa Catarina. As unidades habitacionais foram monitoradas durante sua utilização normal e foram registradas as temperaturas de bulbo seco do ar nos ambientes internos e externos às edificações. Foram também calculadas as propriedades térmicas dos elementos e sistemas construtivos e os valores encontrados verificados de acordo com os limites estabelecidos nas normas brasileiras de desempenho NBR 15.220 e NBR 15.575. As edificações multifamiliares foram monitoradas por nove meses (set 08 a jun 09) e as unifamiliares por sete meses (nov 08 a jun 09). Foram feitas análises durante uma semana quente e uma semana fria, escolhidas dentro do período total monitorado, usando os parâmetros de distribuição de temperaturas, temperaturas máximas, mínimas e médias, amplitude térmica e amortecimento térmico. Considerando o período total de monitoramento, foram analisados os somatórios de graus-hora acima e abaixo de limites pré-estabelecidos e a relação entre o somatório de graus-hora interno e externo. Para o verão os piores desempenhos foram do sistema de alvenaria convencional para as edificações multifamiliares e o sistema de placas de concreto para as edificações unifamiliares. No inverno o pior desempenho foi verificado para o sistema de blocos estruturais de concreto entre as multifamiliares e na residência de madeira entre as unifamiliares.

ABSTRACT

The thermal performance of three multifamily and three single family low cost buildings built through public housing policy *in* six cities of Santa Catarina was evaluated. The housing units were in regular use and their indoor and outdoor dry bulb temperatures were measured. The thermal properties of different constructive systems were also calculated and the results were checked with the values in Brazilian standards NBR 15.220 and NBR 15.575. The multifamily buildings were measured by nine months (sep 08 to jun 09). Single family buildings were measured by seven months (nov 08 to jun 09). The analysis considered one hot week and one cold week taken from the total period measured and used parameters such as graphs of temperature distribution, maximum, minimal and average temperatures, thermal amplitude, and thermal damping. For the total period measured different parameters were used, like degree-hours sum below and above the pre- established limits and the relation between inner and outer degree hour sum. In hot seasons the worst performance observed was for conventional masonry among multifamiliar buildings and concrete panels for single family buildings. In cold seasons the concrete blocks masonry for multifamily and wooden house for single family got the worst thermal performance.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVOS	3
1.1.1	OBJETIVO GERAL	3
1.1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.2	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	4
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1	POLÍTICAS PÚBLICAS DE HABITAÇÃO	5
2.1.1	PAR	5
2.1.2	PSH	6
2.2	CONSIDERAÇÕES SOBRE CONFORTO TÉRMICO	7
2.3	A ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA E OS SISTEMAS CONSTRUTIVOS	8
2.4	DESEMPENHO TÉRMICO	12
2.4.1	CONCEITOS E APLICAÇÕES	12
2.4.2	AVALIAÇÃO	13
2.4.3	NORMATIZAÇÃO	18
2.5	SÍNTESE DO CAPÍTULO	22
3	METODOLOGIA	23
3.1	ESCOLHA DAS UNIDADES HABITACIONAIS	25
3.1.1	EDIFICAÇÕES MULTIFAMILIARES	27
3.1.2	EDIFICAÇÕES UNIFAMILIARES	29
3.2	LEVANTAMENTO DE DADOS	30
3.2.1	EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	30
3.2.2	INSTALAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS	31
3.2.3	PERÍODO DE MEDIÇÃO	32
3.2.4	CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS	33
3.3	ANÁLISE DOS RESULTADOS	35

3.3.1	DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURAS _____	36
3.3.2	AMPLITUDE TÉRMICA _____	37
3.3.3	AMORTECIMENTO TÉRMICO _____	37
3.3.4	SOMATÓRIO DE GRAUS-HORA _____	37
3.3.5	RELAÇÃO ENTRE O SOMATÓRIO DE GRAUS- HORA INTERNO E EXTERNO _____	38

4 DESCRIÇÃO DOS EMPREENDIMENTOS 39

4.1	EDIFÍCIOS MULTIFAMILIARES _____	39
4.1.1	EMPREENDIMENTO 01, BUONA VITTA: ALVENARIA CONVENCIONAL _____	39
4.1.2	EMPREENDIMENTO 02, VILA PARAÍSO: ALVENARIA ESTRUTURAL (BLOCOS DE CONCRETO) _____	45
4.1.3	EMPREENDIMENTO 03, CONSTANTINO CAETANO: ALVENARIA ESTRUTURAL (BLOCOS CERÂMICOS) _____	50
4.2	RESIDÊNCIAS UNIFAMILIARES _____	56
4.2.1	EMPREENDIMENTO 04, CASA DE MADEIRA _____	56
4.2.2	EMPREENDIMENTO 05, CASA DE PLACAS PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO _____	60
4.2.3	EMPREENDIMENTO 06, CASA COM FECHAMENTO DE PVC _____	65

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS 70

5.1	INTRODUÇÃO _____	70
5.2	RESUMO DOS RESULTADOS GERAIS _____	71
5.2.1	AFERIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS _____	74
5.3	EDIFICAÇÕES MULTIFAMILIARES _____	75
5.3.1	ALVENARIA CONVENCIONAL, BUONA VITA. _____	75
5.3.2	ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCOS DE CONCRETO, VILA PARAÍSO. _____	84
5.3.3	ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCOS CERÂMICOS, CONSTANTINO CAETANO. _____	91
5.4	EDIFICAÇÕES UNIFAMILIARES _____	99
5.4.1	CASA DE MADEIRA, SÃO BONIFÁCIO _____	99

5.4.2	CASA DE PLACAS DE CONCRETO, JARAGUÁ DO SUL	105
5.4.3	CASA DE PVC, JARAGUÁ DO SUL	111
5.5	RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E PROPRIEDADES TÉRMICAS	117
6	<u>CONCLUSÕES</u>	<u>120</u>
6.1	CONSIDERAÇÕES SOBRE O DESEMPENHO	123
6.2	LIMITAÇÕES DESTE TRABALHO	124
6.3	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	124
7	<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>125</u>

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: ESTRUTURA DAS ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA. _____	25
FIGURA 2: MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS CIDADES ONDE EXISTEM EMPREENDIMENTOS MONITORADOS. _____	27
FIGURA 3: DATALOGGER MODELO HOBO H08-003-2 _____	31
FIGURA 4: PREPARAÇÃO DO DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO PARA OS EQUIPAMENTOS DA ÁREA EXTERNA. _____	32
FIGURA 5: IMAGEM DE SATÉLITE COM LOCAL DE IMPLANTAÇÃO DO CONDOMÍNIO BUONA VITA. FONTE: GOOGLE EARTH (2010) _____	40
FIGURA 6: FACHADAS DOS BLOCOS E ÁREA EXTERNA DO CONDOMÍNIO BUONA VITA _	41
FIGURA 7: PLANTA BAIXA DO PAVIMENTO TIPO DO CONDOMÍNIO BUONA VITA, BLOCO 19, COM INDICAÇÃO DO LOCAL DE INSTALAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS. _____	42
FIGURA 8: PLANTA BAIXA DO PAVIMENTO TIPO DO CONDOMÍNIO BUONA VITA, BLOCO 24, COM INDICAÇÃO DO LOCAL DE INSTALAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS. _____	43
FIGURA 9: DETALHE CONSTRUTIVO DAS PAREDES DO CONDOMÍNIO BUONA VITA ____	44
FIGURA 10: DETALHE CONSTRUTIVO DA COBERTURA DO CONDOMÍNIO BUONA VITA_	45
FIGURA 11: IMAGEM DE SATÉLITE COM LOCAL DE IMPLANTAÇÃO DO CONDOMÍNIO VILA PARAÍSO. FONTE: GOOGLE EARTH (2010) _____	46
FIGURA 12: RUA INTERNA PRINCIPAL E BLOCOS DO CONDOMÍNIO VILA PARAÍSO. ____	47
FIGURA 13: PLANTA BAIXA DO PAVIMENTO TIPO DO CONDOMÍNIO VILA PARAÍSO, BLOCO A, COM A IDENTIFICAÇÃO DO LOCAL DE INSTALAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS. _____	48
FIGURA 14: PLANTA BAIXA DO PAVIMENTO TIPO DO CONDOMÍNIO VILA PARAÍSO, BLOCO D, COM A IDENTIFICAÇÃO DO LOCAL DE INSTALAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS. _____	48
FIGURA 15: DETALHE CONSTRUTIVO DAS PAREDES DO CONDOMÍNIO VILA PARAÍSO. _	50
FIGURA 16: DETALHE CONSTRUTIVO DA COBERTURA DO CONDOMÍNIO VILA PARAÍSO. 50	
FIGURA 17: IMAGEM DE SATÉLITE COM LOCAL DE IMPLANTAÇÃO DO CONDOMÍNIO CONSTANTINO. FONTE: GOOGLE EARTH (2008). _____	51
FIGURA 18: ENTRADA PRINCIPAL DO CONDOMÍNIO CONSTANTINO CAETANO. _____	52
FIGURA 19: PLANTA BAIXA DO PAVIMENTO TIPO DO CONDOMÍNIO CONSTANTINO CAETANO, BLOCO 4, COM INDICAÇÃO DO LOCAL DE INSTALAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS. 53	
FIGURA 20: PLANTA BAIXA DO PAVIMENTO TIPO DO CONDOMÍNIO CONSTANTINO CAETANO, BLOCO 6, COM INDICAÇÃO DO LOCAL DE INSTALAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS. 53	
FIGURA 21: DETALHE CONSTRUTIVO DA PAREDE NO CONDOMÍNIO CONSTANTINO CAETANO. _____	55
FIGURA 22: DETALHE CONSTRUTIVO DA COBERTURA DO CONDOMÍNIO CONSTANTINO CAETANO. _____	55
FIGURA 23: IMAGEM DE SATÉLITE COM LOCAL DE IMPLANTAÇÃO DA CASA DE MADEIRA. FONTE: GOOGLE EARTH (2008). _____	56
FIGURA 24: VISTA GERAL DA RESIDÊNCIA CONSTRUÍDA EM MADEIRA. _____	57

FIGURA 25: PLANTA BAIXA DA RESIDÊNCIA EM MADEIRA DE SÃO BONIFÁCIO COM INDICAÇÃO DO LOCAL DE INSTALAÇÃO DO EQUIPAMENTO. _____	58
FIGURA 26: DETALHE CONSTRUTIVO DA PAREDE DA CASA DE MADEIRA. _____	60
FIGURA 27: DETALHE CONSTRUTIVO DA COBERTURA DA CASA DE MADEIRA. _____	60
FIGURA 28: LOTEAMENTO TIFA SCHUBERT E SEU CONTEXTO AMBIENTAL NA CIDADE DE JARAGUÁ DO SUL. FONTE: GOOGLE EARTH (2008). _____	61
FIGURA 29: FACHADA DA RESIDÊNCIA CONSTRUÍDA EM PLACAS PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO. _____	62
FIGURA 30: PLANTA BAIXA DA RESIDÊNCIA EM PLACAS PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO DE JARAGUÁ DO SUL, COM INDICAÇÃO DO LOCAL DE INSTALAÇÃO DO EQUIPAMENTO. ____	63
FIGURA 31: DETALHES CONSTRUTIVOS DAS PAREDES DA CASA DE PLACAS PRÉ MOLDADAS DE CONCRETO _____	64
FIGURA 32: DETALHES CONSTRUTIVOS DA COBERTURA DA CASA DE PLACAS PRÉ MOLDADAS DE CONCRETO. _____	64
FIGURA 33: FACHADA FRONTAL E LATERAL DA RESIDÊNCIA CONSTRUÍDA EM PVC. ____	66
FIGURA 34: PLANTA BAIXA DA RESIDÊNCIA DE PVC EM JARAGUÁ DO SUL COM INDICAÇÃO DO LOCAL DE INSTALAÇÃO DO EQUIPAMENTO. _____	67
FIGURA 35: DETALHES CONSTRUTIVOS DAS PAREDES DA CASA DE PVC _____	68
FIGURA 36: DETALHES CONSTRUTIVOS DA COBERTURA DA CASA DE PVC. _____	69
FIGURA 37: ORGANIZAÇÃO DO PROCESSAMENTO DOS DADOS E DO DESENVOLVIMENTO DAS ANÁLISES REALIZADAS. _____	73
FIGURA 38: DISPERSÃO DE VALORES MEDIDOS NOS LOGGERS DAS EDIFICAÇÕES UNIFAMILIARES. _____	74
FIGURA 39: DISPERSÃO DE VALORES MEDIDOS NOS LOGGERS DAS EDIFICAÇÕES MULTIFAMILIARES. _____	75
FIGURA 40: DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA DO AR NA SEMANA DO PERÍODO FRIO NO CONDOMÍNIO BUONA VITA. _____	78
FIGURA 41: DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA DO AR NA SEMANA QUENTE NO CONDOMÍNIO BUONA VITA. _____	80
FIGURA 42: SOMATÓRIO DE GRAUS HORA ACIMA DE 26°C E ABAIXO DE 18°C PARA AS UNIDADES HABITACIONAIS DO CONDOMÍNIO BUONA VITA. _____	82
FIGURA 43: RELAÇÃO ENTRE O SOMATÓRIO DE GRAUS HORA INTERNO E EXTERNO ACIMA DE 26°C E ABAIXO DE 18°C PARA AS UNIDADES HABITACIONAIS DO CONDOMÍNIO BUONA VITA. _____	82
FIGURA 44: DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA DO AR NA SEMANA FRIA NO CONDOMÍNIO VILA PARAÍSO. _____	87
FIGURA 45: DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA DO AR NA SEMANA QUENTE NO CONDOMÍNIO VILA PARAÍSO. _____	88
FIGURA 46: SOMATÓRIO DE GRAUS HORA ACIMA DE 26°C E ABAIXO DE 18°C PARA AS UNIDADES HABITACIONAIS DO CONDOMÍNIO VILA PARAÍSO. _____	90

FIGURA 47: RELAÇÃO ENTRE O SOMATÓRIO DE GRAUS HORA INTERNO E EXTERNO ACIMA DE 26°C E ABAIXO DE 18°C PARA AS UNIDADES HABITACIONAIS DO CONDOMÍNIO VILA PARAÍSO. _____	90
FIGURA 48: DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA DO AR NA SEMANA FRIA NO CONDOMÍNIO CONSTANTINO CAETANO. _____	95
FIGURA 49: DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA DE BULBO SECO NA SEMANA QUENTE. _	95
FIGURA 50: SOMATÓRIO DE GRAUS HORA ACIMA DE 26°C E ABAIXO DE 18°C PARA AS UNIDADES HABITACIONAIS DO CONDOMÍNIO CONSTANTINO CAETANO. _____	97
FIGURA 51: RELAÇÃO ENTRE O SOMATÓRIO DE GRAUS HORA INTERNO E EXTERNO ACIMA DE 26°C E ABAIXO DE 18°C PARA AS UNIDADES HABITACIONAIS DO CONDOMÍNIO CONSTANTINO CAETANO. _____	98
FIGURA 52: DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA DO AR NA SEMANA FRIA NA RESIDÊNCIA DE MADEIRA. _____	102
FIGURA 53: DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA DO AR NA SEMANA QUENTE NA RESIDÊNCIA DE MADEIRA. _____	103
FIGURA 54: DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA DO AR NA SEMANA FRIA NA CASA DE PLACAS DE CONCRETO. _____	107
FIGURA 55: DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA DO AR NA SEMANA QUENTE NA RESIDÊNCIA DE PLACAS DE CONCRETO. _____	109
FIGURA 56: DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA DO AR NA SEMANA FRIA NA CASA DE PVC. _____	113
FIGURA 57: DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA DO AR NA SEMANA QUENTE NA CASA DE PVC. _____	114

1 INTRODUÇÃO

Devido ao grande déficit habitacional existente em todo o planeta e em especial no Brasil, as políticas públicas de incentivo à obtenção da casa própria sempre foram indispensáveis para a viabilização de moradias a preços e condições acessíveis à população de baixa renda.

Segundo informações da COHAB de Santa Catarina apresentadas por Laroca et al (2008) 83,2% do déficit habitacional do país são originados de famílias que ganham até três salários mínimos mensais e que na região Sul, o percentual do déficit das famílias com essa renda mensal é de 80,9%.

Diversas pesquisas vêm sendo realizadas com o intuito maior de garantir a qualidade da edificação produzida no país e entregue à população de baixa renda, especialmente em programas governamentais, onde muitas vezes a qualidade da edificação é prejudicada em função da necessidade de redução de custos e dos prazos de entrega reduzidos.

Uma edificação na sua função mais primordial e básica deve prover condições de abrigo aos seres humanos que nela se encontram. A edificação deve ser pensada como um invólucro seletivo e corretivo das manifestações climáticas, enquanto oferece variadas possibilidades de proteção. (LEMOS 1989, apud RAHAL, 2006)

Apenas com o estudo e aplicação dos conceitos de arquitetura bioclimática, pode-se obter incrementos significativos ao desempenho térmico de uma edificação, o que resulta em maior qualidade e conforto ao ocupante ou usuário e economia nos gastos com energia através de maior eficiência na sua utilização.

Em um ambiente de parceria entre profissionais da área, empresas do mercado, especialistas e pesquisadores acadêmicos, normas de referência vêm sendo desenvolvidas para regulamentação de condições mínimas de qualidade e desempenho que as edificações devem apresentar para que o usuário tenha suas necessidades mínimas de conforto e qualidade satisfeitas com o produto oferecido.

Para promover o avanço na área de conhecimento de desempenho e qualidade na habitação, o Programa Habitar FINEP desenvolveu o Projeto REDE, cujo Tema I é: Melhoria da qualidade e redução de custos na produção, recuperação e manutenção de moradias para faixas de menor renda da população.

Esta dissertação foi desenvolvida com dados obtidos na pesquisa do desempenho térmico de edificações de diferentes sistemas construtivos para população de baixa renda, realizada pelo Projeto REDE Tema I do Programa Habitare FINEP.

Os empreendimentos foram pesquisados através de autorização fornecida pela Caixa Econômica Federal, que financiou as obras. Essa autorização seguiu critérios internos e definiu quais os empreendimentos estariam liberados para as pesquisas do Projeto REDE, dentre as quais faz parte a avaliação de desempenho térmico. Os empreendimentos estão detalhados no capítulo quatro, onde é feita a descrição das edificações.

A Universidade Federal de Santa Catarina, através de seus pesquisadores, participou das pesquisas do Projeto Rede, desenvolvido no Programa HABITARE da FINEP, estudando diversos temas relacionados à sistemas construtivos usuais em habitação de interesse social.

Dentre os temas estudados, o desempenho térmico dos sistemas construtivos foi o objeto da pesquisa que possibilitou o desenvolvimento desta dissertação.

O desempenho térmico satisfatório da edificação é uma das condições necessárias para que essa edificação ofereça conforto ambiental aos seus ocupantes e usuários nas suas diversas atividades.

A avaliação de desempenho térmico das edificações costuma ser realizada utilizando métodos de simulação ou através de medições realizadas nos ambientes da edificação.

Grigoletti (2008) verificou que no Brasil existem estudos que apresentam um monitoramento da temperatura e umidade relativa das edificações por longos períodos de tempo que possam ilustrar a resposta da edificação as variações climáticas ao longo do ano. A autora sugere ao menos 5-7 dias consecutivos de medições para o período frio e também para o período quente para que avaliar o desempenho térmico da edificação.

O estudo de desempenho térmico de habitações populares vem colaborar com o desenvolvimento de tecnologias de construção, regulamentação e fiscalização de edificações de interesse social que historicamente possuem o fator custo como prioridade sobre o desempenho causando piora na qualidade da edificação e patologias de todo tipo que, não raro, custam mais para reparar e consertar do que sua prevenção custaria.

A medição *in loco* é um procedimento ainda não regulamentado de avaliação do desempenho térmico. A mais recente norma de

desempenho, NBR 15.575 classifica esse método como informativo e recomenda que ele seja realizado com todas as aberturas fechadas e sem ocupação na edificação.

Nesta pesquisa é realizada a medição com a edificação ocupada normalmente e com utilização das aberturas de ventilação. Assim pode-se verificar o desempenho da edificação de maneira mais realista considerando fatores de grande influência no seu comportamento térmico.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral da pesquisa é realizar a avaliação do desempenho térmico de edificações de interesse social localizadas no estado de Santa Catarina, utilizando os resultados das medições de temperatura do ar e dos cálculos das propriedades térmicas dos elementos construtivos e componentes das edificações, que encontram-se em condições normais de uso e foram executadas em diferentes sistemas construtivos.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar as características físicas e construtivas das edificações de interesse social construídas em diferentes cidades do estado de Santa Catarina.
- Calcular as propriedades térmicas dos elementos construtivos utilizados e as áreas das aberturas de ventilação dos ambientes monitorados de acordo com as normas de desempenho NBR 15.220 e NBR 15.575.
- Utilizar parâmetros de análise do desempenho térmico para períodos semanais e para o período total de monitoramento.
- Avaliar o desempenho térmico das edificações em função dos parâmetros levantados, das características do sistema construtivo utilizado, das características físicas e arquitetônicas das edificações.

1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O primeiro capítulo deste trabalho traz o contexto e a justificativa da realização dos estudos, os objetivos e a estrutura de apresentação.

Na segunda parte é mostrada uma revisão bibliográfica do material publicado na área pela relevância em relação ao tema e seus diversos aspectos que devem ser considerados para realização da pesquisa.

Na terceira parte a metodologia de pesquisa é descrita, com períodos, equipamentos e critérios utilizados na medição e avaliação do desempenho térmico.

Em seguida é feita uma descrição dos empreendimentos com suas características físicas, construtivas, propriedades térmicas, localização e especificidades de cada empreendimento multifamiliar e unifamiliar estudado.

O quinto capítulo apresenta os resultados obtidos, os gráficos e suas interpretações e análises.

Finalmente o último capítulo mostra as conclusões e considerações finais do trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta revisão bibliográfica mostra alguns estudos e normas existentes relacionados ao desempenho térmico de edificações residenciais. Os conceitos relacionados ao desempenho térmico, como arquitetura bioclimática e conforto térmico, os métodos de medição de temperatura, os métodos de avaliação e as conclusões a respeito de desempenho foram comentadas neste capítulo, buscando estabelecer o contexto de desenvolvimento da pesquisa.

As metodologias propostas e utilizadas para os processos de medição da temperatura do ar e posterior processamento e análise dos dados coletados para a avaliação do desempenho térmico foram especialmente observadas.

2.1 POLÍTICAS PÚBLICAS DE HABITAÇÃO

A participação da Universidade Federal de Santa Catarina no Projeto REDE foi feita em diversas áreas de conhecimento relacionados às habitações de interesse social através de dados coletados em empreendimentos resultantes de algumas políticas públicas de incentivo ao desenvolvimento habitacional.

Essas políticas públicas de apoio e incentivo à redução do déficit habitacional nacional do Ministério das Cidades, cujos empreendimentos foram estudados na pesquisa, são:

- Programa de Arrendamento Residencial – PAR
- Programa de Subsídio Habitacional – PSH.

2.1.1 PAR

O Programa de Arrendamento Residencial (PAR), do Ministério das Cidades, é financiado pelo FAR – Fundo de Arrendamento Residencial – e executado pela CAIXA, que recebe as solicitações e libera os recursos a serem aplicados em cada município. Todos os estados da Federação, mais o Distrito Federal, podem solicitar participação no programa.

O PAR tem como objetivo reduzir o déficit habitacional em municípios com mais de 100.000 habitantes, ajudando estes municípios a atenderem à necessidade de moradia da população de baixa renda, especificamente aquelas famílias que recebem até R\$ 1.800,00 e vivem em centros urbanos. Funciona mediante construção e arrendamento de unidades residenciais, com opção de compra do imóvel ao final do período contratado. O número máximo de unidades por empreendimento está limitado a 500.

DAMÉ (2008) acredita que este programa representou um avanço sobre os programas existentes até então, superando algumas das principais críticas feitas aos programas anteriores como a inserção na malha urbana e a criação de redes de infra estrutura básica.

A unidade padrão das edificações deste programa é composta de 2 quartos, sala, cozinha e banheiro, com área útil mínima de 37 m², exceto nos projetos de recuperação de empreendimentos, que são analisados individualmente. A configuração das unidades com Especificação Mínima varia em função da região do empreendimento.

O prazo de execução das obras é limitado a, no máximo, 18 meses, contados da data da assinatura do contrato.

2.1.2 PSH

O Programa de Subsídio à Habitação de Interesse Social - PSH é uma linha de crédito direcionada à produção de empreendimentos habitacionais. Seu objetivo principal é o de subsidiar a produção de empreendimentos habitacionais para populações de baixa renda, nas formas de conjunto ou de unidades isoladas.

Em parceria com o setor público, sob a forma de recursos financeiros, bens ou serviços, o PSH viabiliza a aquisição e/ou produção de casas populares para a população de baixa renda, pessoas físicas com rendimento familiar mensal bruto não superior a R\$ 1.050,00.

O benefício complementa a capacidade financeira do proponente para o pagamento do preço de imóvel residencial e assegura o equilíbrio econômico e financeiro das operações realizadas pelas instituições financeiras.

2.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE CONFORTO TÉRMICO

O foco desta pesquisa não é o conforto térmico, porém, alguns conceitos de conforto térmico merecem ser observados já que o desempenho térmico de uma edificação visa, sobretudo, proporcionar conforto térmico para os indivíduos inseridos em seus ambientes.

Além de abrigo, a edificação fornece o ambiente térmico ao qual o indivíduo está inserido. A definição feita pela ASHRAE (2004) diz que de conforto térmico é um estado de espírito que reflete satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa. A ABNT NBR 15.220 (2005) define conforto térmico como a satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente.

Uma edificação com desempenho térmico satisfatório deve criar condições térmicas em seu ambiente que proporcionem conforto térmico ao indivíduo. Diversas pesquisas, como as realizadas por Fanger (1970) e Givoni (1992) têm sido realizadas buscando estabelecer critérios para a definição e verificação dessas condições térmicas.

A definição das zonas de conforto térmico tem sido estudada através de técnicas de regionalização dos limites estabelecidos para o conforto térmico, a fim de se obter um método que considere adequadamente os principais fatores de influência nas condições de conforto, visto que existem grandes diferenças regionais, ambientais e pessoais envolvidas na sensação de conforto térmico.

Embora os métodos utilizados pelos autores sejam diferentes, alguns concordam que as zonas de conforto devem ser adaptadas de acordo com as diferentes regiões geográficas, já que condições climáticas mais quentes elevam os limites térmicos da sensação de conforto devido à aclimação. A zona de conforto também deve variar de acordo com os indivíduos, os tipos de vestimenta e a natureza da atividade que se executa, além do sexo e da idade.

Dentre todos os estudos, Givoni (1992) contribuiu de maneira importante quando fez uma análise crítica dos limites de conforto adotados pela American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE. Ele apresentou uma técnica de análise do gráfico de dados climáticos, principalmente para países quentes. Para estabelecer uma zona de conforto térmico que se aproximasse mais da realidade de países de clima quente e úmido, Givoni levou em consideração fatores como a aclimação das pessoas ao clima quente e úmido e a maiores velocidades do ar. Nos países em desenvolvimento onde a maioria das edificações não possui sistema de

climatização do ar, a ventilação costuma ser a maneira mais comum de resfriamento dos ambientes internos.

Em sua zona de conforto, o autor recomenda para o interior temperaturas variando de 18 a 29°C, podendo-se admitir até 32°C para velocidades do ar de 2 m/s, em ambientes onde não haja trabalhos de escritório.

Partindo-se desses limites, foi possível estabelecer as temperaturas adotadas neste trabalho para avaliação do desempenho das edificações. A temperatura limite superior será menor que a proposta por Givoni para permitir quantidade significativa de registros. Em períodos mais amenos as temperaturas da região Sul não costumam ultrapassar muito a temperatura superior de 29°C citada.

Como as investigações visam análise do desempenho térmico, a redução da temperatura limite superior não está relacionada com o conforto térmico do indivíduo e sim, permite verificar o comportamento da edificação com maior quantidade de registros significativos durante o monitoramento de campo.

As pesquisas de campo são normalmente utilizadas em estudos de conforto térmico para que as variáveis ambientais possam ser incorporadas às variáveis pessoais ou subjetivas, de modo controlado, a fim de se encontrar a melhor combinação possível entre elas para fornecer uma situação confortável. (LAMBERTS e XAVIER, 2002)

2.3 A ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA E OS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Observando-se os fatores relacionados à habitação de interesse social, Rotta (2009) diz que a padronização exagerada, dimensionamento equivocado, qualidade construtiva muitas vezes deficiente, falta de preocupação com as questões relacionadas com o conforto ambiental e a ausência de rigor tanto na contratação quanto na fiscalização da obra demonstram a diminuição da qualidade das edificações voltadas para famílias de menor renda.

Se junta a isso o fato do território brasileiro possuir grande extensão, o que causa diferenças climáticas enormes em suas regiões. Dessa forma o resultado de políticas públicas habitacionais, que utilizam sistemas construtivos e materiais padronizados em função dos custos ou de contextos econômicos e decisões políticas, são habitações que não se adaptaram às condições climáticas locais de cada região.

Para identificar os sistemas construtivos comuns às habitações populares no Brasil, Barbosa (1997) realizou uma pesquisa entre as 27 COHABs, permitindo um levantamento técnico e econômico da realidade construtiva brasileira e que foi denominado de referencial cultural conhecido. Os resultados são apresentados na Tabela 1:

TABELA 1: Características da tipologia construtiva representativa conforme a pesquisa realizada em 27 companhias de habitação, referente ao período 1980/1990

1- Área média de construção	Aproximadamente 34,00 m ²
2 - Cobertura	Cobertura em telha cerâmica vermelha, com espessura de 0,01 m, beiral de 0,50 m, estrutura de madeira e inclinação em duas águas.
3 - Forro	Somente para as regiões Sudeste e Sul, em laje pré-moldada de 0,10 m de espessura. Nas demais regiões, sem forro.
4 - Paredes	Paredes de alvenaria de tijolos cerâmicos com acabamento interno e externo de reboco com 0,02 m de espessura e pintura branca dos dois lados. A espessura total é entre 0,11 m a 0,15 m.
5 - Janelas	As janelas têm área média de 1,20 m ² , são do tipo basculante com caixilho de ferro, vidro simples e sem proteção.

A autora calculou as propriedades térmicas para os principais elementos construtivos dessa tipologia e comparou os valores encontrados com os limites adotados em normas de sete países e com os valores do estudo feito pelo IPT para o BNH em 1981. As propriedades térmicas calculadas para a tipologia padrão identificada não estavam de acordo com os valores limites na maioria das normas internacionais, porém com exceção da cobertura sem forro, as propriedades dos outros elementos estavam de acordo com o estudo do IPT.

Os estudos de arquitetura bioclimática sugerem soluções e conceitos arquitetônicos que são específicos para cada região. No Sul do Brasil alguns estudos específicos foram realizados e identificaram como

a arquitetura bioclimática pode ser usada de maneira estratégica para contribuir e melhorar o desempenho térmico das edificações construídas nesse clima.

Papst (1999) verificou a estratégia de utilizar inércia térmica em edificações residenciais na cidade de Florianópolis – SC. Essa cidade do sul do Brasil possui clima com verão quente e úmido e freqüentes entradas de frentes frias no ano inteiro. A autora monitorou as temperaturas internas e externas de quatro edificações com diferentes características construtivas durante nove meses e analisou os resultados através de parâmetros como distribuição de temperaturas, amplitude térmica, amortecimento térmico e atraso térmico além da carta bioclimática de Givoni e do somatório de graus-hora e do grau médio. Foi verificado que o uso de inércia térmica pode apresentar bons resultados para o desempenho térmico tanto no verão quanto no inverno desde que outras estratégias também sejam utilizadas, como isolamento na cobertura para evitar ganhos de calor no verão e controle das aberturas para permitir resfriamento por ventilação noturna e evitar perdas de calor interno no inverno.

Goulart (2002) estudou o uso da inércia térmica como técnica de resfriamento passivo em 3 residências localizadas no Sul do país e também constatou que as residências construídas com maior inércia térmica (paredes de pedra) apresentaram menor variação da temperatura interna. Foi visto também que o uso de ventilação noturna, bom isolamento na cobertura, área de aberturas e sombreamentos também são importantes e devem ser utilizados simultaneamente com a inércia térmica para garantir melhores resultados de desempenho térmico.

Ghisi e Massignani (2007) compararam o desempenho térmico de oito quartos desocupados em um edifício multifamiliar em Florianópolis onde as temperaturas foram medidas por 29 dias. Analisando suas conclusões observa-se, mais uma vez, que as soluções encontradas para o verão foram redução da transmitância térmica e diminuição da fachada com maior exposição solar, que podem ser obtidas com isolamento da cobertura e utilização de cores claras nas superfícies externas. Para o inverno sugere-se alta capacidade térmica (inércia térmica).

Grigoletti et al (2008) analisaram o comportamento térmico de uma edificação unifamiliar de baixo custo protótipo construída no campus da UFRGS, em Porto Alegre. A edificação possui 48m² e utilizou técnicas passivas para melhorar o desempenho térmico. Na cobertura, o maior pano da cobertura foi orientado para o sul para evitar os ganhos excessivos de calor no verão, utilizou-se lâmina de alumínio polido como barreira radiante e aberturas controladas para ventilação do

forro durante o verão. Na fachada oeste foi construído um pergolado de madeira para sombreamento. As propriedades térmicas foram calculadas e com exceção do fator solar da parede, todas estiveram dentro dos limites estabelecidos nas normas brasileiras.

As medições, feitas com a edificação fechada e sem uso, demonstraram um melhor desempenho térmico no verão do que no inverno. Por ser um protótipo de edificação de interesse social, a pouca capacidade térmica prejudicou seu desempenho térmico no frio.

A principal estratégia verificada pelas pesquisas para edificações na região Sul do Brasil é o uso de inércia térmica. Essa propriedade não pode ser facilmente obtida com a utilização dos sistemas construtivos mais utilizados em edificações populares no país, identificados no estudo de Barbosa (1997).

Pesquisas internacionais também procuraram identificar soluções arquitetônicas para edificações em climas tropicais. Halwatura e Jayasinghe (2007) pesquisaram o desempenho térmico da edificação através de modelos em escala reduzida e em escala real utilizando lajes de concreto reforçadas e com isolamento. O objetivo inicial foi dar maior proteção à edificação em caso de ciclones. A laje reforçada protegeria, devido ao seu peso elevado, a edificação do efeito de sucção causado em um ciclone, e o incremento da inércia térmica da laje somado ao seu isolamento garantiria desempenho térmico satisfatório em locais de clima quente e úmido. Os autores mostraram que o peso da laje oferece uma resistência maior que os esforços de sucção gerados pelo vento normalmente presentes durante um ciclone e o isolamento da laje diminuiu a irradiação do calor absorvido por ela para o interior da edificação, melhorando seu desempenho.

Jones (1991) estudou o desempenho térmico de cinco casas de baixo custo na Malásia e identificou soluções arquitetônicas para melhorar o desempenho das edificações construídas em clima tropical. Áreas de sombreamento, estrutura de cobertura que reduza os ganhos térmicos, ventilação cruzada e redução da massa térmica interna foram sugeridas pelo autor. Observou-se nos estudos existentes a falta de sensibilidade no projeto arquitetônico para as necessidades climáticas locais, desde a implantação, forma e materiais utilizados até a ausência de estratégias de projeto, para melhoria das condições internas de conforto e habitabilidade. Essas características arquitetônicas padrão das habitações populares relacionam-se diretamente com sua eficiência energética, pois no dia-a-dia dos seus moradores há uma grande dependência da iluminação artificial e de condicionamento térmico

ativo, o que os força a equipar a residência com ventiladores, que ficam em permanente funcionamento.

2.4 DESEMPENHO TÉRMICO

O desempenho térmico de uma edificação pode ser entendido como o comportamento térmico dessa edificação frente a parâmetros pré-determinados de condições de conforto e desempenho dos materiais e sistemas utilizados na sua construção. Sua mensuração ajuda a estabelecer os limites mínimos ideais para garantir à edificação boas condições térmicas de habitabilidade.

Em países em desenvolvimento de climas tropicais e subtropicais, vários aspectos relacionados ao desempenho das edificações entregues a população de baixa renda devem ser verificados. O desempenho térmico de habitações sociais está diretamente ligado a melhoria do seu conforto térmico interno (KRÜGER e LAROCA 2009).

2.4.1 CONCEITOS E APLICAÇÕES

O conceito de desempenho refere-se ao comportamento em uso de determinado produto, correspondente aos requisitos e critérios necessários para sua resposta adequada diante das condições de exposição do mesmo.

Segundo Vittorino (2003), a edificação habitacional deve reunir características que atendam as exigências de conforto térmico dos usuários, considerando-se a região de implantação da obra e as respectivas características bioclimáticas. No dia típico de verão, as condições térmicas no interior da edificação devem ser melhores ou iguais às do ambiente externo, à sombra, de acordo com o critério estabelecido.

A habitação, quando submetida a determinadas condições de exposição, deve atender tanto às exigências de conforto térmico do usuário quanto aos demais requisitos e a critérios de desempenho, (BRITO, 2007).

2.4.2 AVALIAÇÃO

Barbosa (1997) desenvolveu uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico em edificações residenciais unifamiliares térreas e confirmar condições de conforto térmico da população local, frente a diferentes sistemas construtivos, estabelecendo o limite de horas anuais de desconforto com base em um sistema construtivo referencial. Essa metodologia diz que se a quantidade de horas fora da zona de conforto for maior que 1.000 horas, a edificação avaliada será considerada fora do limite aceitável de desempenho térmico.

Em seu trabalho, cinco tipologias construtivas diferentes para habitações unifamiliares foram pesquisadas. Esta pesquisa teve a finalidade de avaliar a sensação térmica dos usuários e as temperaturas internas de verão e inverno. Paralelamente foram levantados os dados construtivos das unidades habitacionais estudadas e o clima externo dos períodos de levantamento, além de dados climáticos para o período 1979 a 1990 de onde foi definido o ano climático de referência -TRY (1986) para a cidade de Londrina, no Paraná. A sensação térmica dos usuários foi usada para confirmar a validade da zona de conforto térmico escolhida.

As temperaturas internas e os dados construtivos e climáticos foram usados para ajustar a ferramenta de simulação. A partir da ferramenta de simulação calibrada aos cinco sistemas construtivos, foram realizadas simulações com várias alternativas construtivas, usando-se o ano climático de referência e estabelecendo-se as horas anuais de desconforto (horas em que as temperaturas internas simuladas estiveram fora dos limites da zona de conforto).

Com estes resultados partiu-se para a escolha do limite de horas anuais de desconforto aceitável frente à realidade econômica e o referencial cultural estabelecido na pesquisa com as COHABs. Com este limite foi possível parametrizar o desempenho térmico do referencial cultural, em função de algumas variáveis de projeto, tais como: transmitância de paredes e coberturas, absorvidade das paredes e coberturas, capacidade térmica ou massa de paredes e coberturas, além de áreas de aberturas para ventilação e sistema de sombreamento.

Nos seus estudos, Barbosa conclui que ainda não é possível estabelecer uma forma para definir o desempenho térmico das cinco unidades habitacionais estudadas, com base nas duas coletas de dados realizadas nos períodos mais quentes e mais frios do ano. Para avaliar o desempenho térmico destas edificações seria necessário realmente fazer-

se uma investigação para o ano inteiro e não apenas os dias de períodos extremos.

Papst (1999) em sua pesquisa verificou a hipótese do uso de inércia térmica em edificações residenciais, através de medições realizadas entre os meses de setembro e outubro, em quatro residências no bairro da Lagoa da Conceição na cidade de Florianópolis. A aquisição de dados da temperatura de bulbo seco foi feita de meia em meia hora, e integrada para a base horária. A análise dos dados de temperatura medidos foi feita de seis maneiras distintas. Distribuição de temperaturas, amplitude térmica, atraso térmico, somatório de graus-hora, grau médio e número de horas fora dos limites estipulados para o somatório de graus hora.

A distribuição de temperaturas mostrou como se comporta a edificação com a entrada de frentes frias, dias com muita radiação, quedas e altas de temperatura externa, entre outros fatores. Já com o gráfico de amplitude térmica diária, feito com a subtração entre o valor máximo e mínimo de temperatura diária medido em cada edificação e também no ambiente externo, pode-se comparar a amplitude externa com as amplitudes internas.

O atraso térmico diário foi calculado pela diferença de horário de registro entre a máxima externa e a máxima interna de um determinado dia. A grande diferença entre alguns valores de atraso térmico podem aparecer quando há uma variação não homogênea de temperatura durante um período, ou quando a máxima temperatura externa diária ocorre no período noturno.

O critério de $\Sigma^{\circ}\text{C}^*\text{h}$ (somatório de graus-hora) foi determinado usando-se uma temperatura base, sobre a qual se fez a somatória dos graus superiores ou inferiores ao limite estipulado. As temperaturas bases para análise de calor variaram entre 21°C e 29°C . As bases de temperatura para análise de frio variaram de 19°C a 13°C . As temperaturas dos ambientes internos das edificações foram comparadas com as temperaturas do ambiente externo. Duas informações são retiradas do conceito de $\Sigma^{\circ}\text{C}^*\text{h}$ (somatório de graus-hora), o h., que é o número de horas que estiveram acima ou abaixo da base estipulada e o g.m. (grau-médio), que é a média dos graus-hora, representando a razão do somatório de graus-hora pelo número de horas acima ou abaixo da base estipulada.

A autora concluiu que a combinação de alta inércia térmica nos fechamentos laterais combinada com o isolamento da cobertura garante bom desempenho térmico no clima da cidade de Florianópolis. Entre a

edificação com alta inércia térmica nas paredes e sem isolamento na cobertura e a edificação com isolamento na cobertura e pouca inércia térmica nas paredes o melhor desempenho térmico para a região estudada foi obtido nesta última.

Giglio e Barbosa (2006) analisaram a aplicabilidade dos métodos de avaliação do desempenho térmico de edificações em um sistema construtivo alternativo em madeira. O método de pesquisa adotado baseou-se em uma análise comparativa, na qual se variaram os painéis de vedação em um protótipo habitacional. Através de ferramenta de simulação, foram obtidos dados anuais de temperatura interna, os quais foram analisados segundo o método da NBR 15.220 e também pelo método das horas de desconforto. Além dessa análise, fez-se uma avaliação a partir de métodos simplificados. Ao final, faz-se uma análise acerca da compatibilidade dos resultados oriundos da aplicação dos diferentes métodos.

As análises feitas pelas autoras, para o desempenho mediante o procedimento de simulação, comprovaram grandes oscilações climáticas no interior do protótipo com esse fechamento, ocasionando grande amplitude térmica interna e picos de temperatura elevados. A NBR 15.220, apresenta procedimentos e parâmetros conflitantes para avaliação térmica por desempenho. Na condição de verão, neste estudo, as autoras verificaram que o limite de temperatura máxima para obtenção do desempenho mínimo foi menor do que o a temperatura máxima para obtenção do desempenho intermediário.

Para a condição de inverno, as autoras acreditam que estudos de monitoramento de residências em condições de uso, pertencentes à regiões da zona bioclimática 3, devam ser realizados a fim de se verificar se as tecnologias já consolidadas atingem o nível de desempenho térmico esperado.

Leão (2006) analisou o desempenho térmico em duas unidades habitacionais, localizadas em área de clima tropical e que são réplicas das tipologias construtivas mais empregadas na construção de residências populares pelo programa de habitação popular do governo do Estado de Mato Grosso. A zona de conforto térmico de Givoni (1992) para países com clima quente e em desenvolvimento, com índices de temperatura entre 18°C e 29°C, foi escolhida como representativa para definir os limites da zona de conforto adotada. A NBR 15220-3/2005 (Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro) foi utilizada na análise por prescrição dos dados construtivos coletados nas unidades habitacionais. De acordo com a frequência das temperaturas de bulbo seco dentro da zona de conforto adotada, foram verificados os

níveis de desempenho térmico das residências e comparados entre si, para conclusões acerca da tipologia construtiva que melhor se adapta ao clima da região.

As residências testadas apresentaram padrões construtivos tão baixos e, por consequência, um desempenho térmico tão insatisfatório que tornaram o clima externo mais confortável termicamente que o interior das edificações, não definindo as unidades habitacionais mais utilizadas atualmente nesta região como abrigo.

Porto e Barbosa (2008) analisaram as condições térmicas de três habitações de interesse social implantadas na cidade de Londrina, que foram construídas com materiais diferentes, alvenaria tradicional, cimento amianto e concreto monolítico, e foram submetidas a medições de temperatura durante todo o ano de 2001. Foram aplicados diferentes metodologias de avaliação de desempenho térmico. Dentre as metodologias existentes, definiu-se o método simplificado de cálculo da NBR 15.220, o método simplificado de cálculo da NBR 15.575, o método por medição da NBR 15.575 (dias típicos de verão e de inverno) e horas de desconforto de Givoni.

Foi identificado que os métodos apresentaram diferença de resultados. As três habitações são aprovadas e reprovadas em parâmetros diferentes. Através dos dados apresentados no estudo é possível visualizar que existem certas incoerências entre as metodologias de cálculo e de medição. Segundo os autores, são necessários outros estudos para elaboração de uma revisão dos parâmetros adotados para os métodos simplificados, para que estes fiquem mais próximos dos valores obtidos com as medições *in loco*.

O desempenho térmico e lumínico de duas habitações unifamiliares de interesse social na cidade de Cuiabá foram estudados por Nogueira et al. (2008). Eles realizaram medição *in loco*, nos anos de 2006 e 2007, utilizando um termômetro de globo digital modelo TGD-100 para medir as temperaturas internas de bulbo seco e temperatura de bulbo úmido.

Os períodos de medição contemplaram as quatro estações do ano. Os dados de temperaturas foram analisados através dos níveis de conforto de acordo com a Carta Bioclimática de Givoni (1992), adaptada para países quentes e em desenvolvimento. As análises de desempenho nas residências mostraram a necessidade de adequação da arquitetura das habitações de interesse social às condições climáticas da cidade, de maneira a atenuar o desconforto térmico e melhorar a eficiência energética.

Dencker e Lamberts (2008) mediram, durante os meses de janeiro a março de 2002, os valores de temperatura de bulbo seco e umidade relativa horárias internas de uma residência naturalmente ventilada na cidade de Manaus. A aquisição destes dados foi realizada com auxílio de HOBOS® fixados em três ambientes da residência (quartos e sala de TV) de maneira a não interferirem na rotina dos moradores da residência.

As temperaturas externas foram obtidas na Estação Meteorológica do Aeroporto Internacional Eduardo Gomes, localizado na zona Norte da cidade. A instalação de HOBOS® na área externa à residência não foi possível, tanto por problemas de segurança quanto de conservação dos equipamentos.

Foi verificado que o período noturno correspondeu ao horário de maior desconforto térmico. Isso foi causado pelo fato da cobertura possuir isolamento térmico e assim protege os ambientes internos durante o dia, diminuindo a transferência de calor de fora para dentro, mas, durante a noite, ela não permite que haja perda de calor para o meio externo que possui menores temperaturas, gerando assim maior desconforto, acentuado pela reduzida ventilação interna.

Laroca et al. (2008) mediram as temperaturas internas e externas de um protótipo de habitação popular construído em madeira na cidade de Canoinhas-SC. Foram medidas as temperaturas internas em diferentes níveis de altura para analisar o efeito da estratificação do ar. As medições foram feitas entre dezembro de 2006 e janeiro de 2007. Para avaliar o desempenho foi calculada uma temperatura média entre os diferentes valores encontrados para cada altura em um mesmo ambiente. O valor médio foi comparado a uma temperatura referencial calculada através da equação da temperatura de conforto adaptativo que utiliza as médias externas como dados de entrada. Os resultados demonstraram que, para Canoinhas, no período de verão, o protótipo apresentou 100% de conforto e 80% de aceitabilidade.

O trabalho de normatização do desempenho das edificações no Brasil, incluindo-se o desempenho térmico, é de vital importância para que os governantes possam utilizar essas normas que definem os padrões construtivos mínimos para habitações populares e exigir seu cumprimento, para entregar aos seus habitantes um produto que possa garantir padrões satisfatórios de habitabilidade.

Rotta (2009) avaliou o desempenho térmico de edificações populares da cidade de Santa Maria através de registros da temperatura do ar do interior e do exterior das edificações. A medição foi feita em períodos de verão (10 dias) e inverno (14 dias) com dataloggers HOBO.

As edificações monitoradas foram escolhidas em função das suas características físicas, tipologias e sistemas construtivos para permitir a comparação dos resultados obtidos. Os critérios prioritários foram a capacidade térmica dos elementos da envoltória e a ventilação cruzada.

A autora fez a análise dos registros através da distribuição de temperaturas nos dois períodos monitorados, amplitude térmica e amortecimento e os relaciona com as características priorizadas de capacidade térmica e ventilação cruzada.

Dessa forma, Rotta (2009) concluiu que os edifícios do PAR apresentaram menor capacidade térmica, e pouco cuidado no isolamento das coberturas. Assim observou-se que a influência da cobertura no desempenho térmico das unidades do último pavimento foi maior que a orientação solar, tanto no inverno quanto no verão. Observou-se também que a utilização de ventilação cruzada sem controle das aberturas e sem boa vedação das esquadrias não surte os efeitos desejados. A edificação com melhor desempenho térmico verificado não apresentava boas condições de ventilação cruzada. Neste conjunto sua alta capacidade térmica foi o fator decisivo para este desempenho.

2.4.3 NORMATIZAÇÃO

A diferença mais significativa entre as normas internacionais e nacionais é o fato de que em países desenvolvidos, em sua maior parte localizados no hemisfério Norte, com climas frios, os projetistas de edifícios são obrigados a fornecer condições internas adequadas ao ser humano diante de condições externas adversas. Nesses países frios é necessário o uso de aquecimento para que as pessoas sobrevivam. Assim, as normas enfatizam como avaliar se o sistema de climatização fornece efetivamente condições satisfatórias de conforto e se o projeto do edifício resulta em baixos consumos de energia pelo sistema de climatização de aquecimento.

Em países como o Brasil, onde não se tem climas muito extremos de frio ou calor, muitos projetistas desconsideram questões de desempenho ou conforto em virtude dos custos iniciais de implantação dos empreendimentos. (BRITO 2007)

Normas de desempenho são estabelecidas buscando atender exigências dos usuários utilizando-se quesitos e critérios previamente definidos.

As normas brasileiras estão citadas e comentadas a seguir:

NBR 15.220 (ABNT, 2005) Desempenho Térmico em Edificações, publicada em 2005. Esta norma está vigente e é dividida em 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 de calor 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 NBR 15.575, (ABNT, 2008) Desempenho de Edifícios Habitacionais de até Cinco Pavimentos, publicada em 12 de maio de 2008. Esta norma é a mais recente e se preocupa com a edificação como um todo. Por isso, estabelece critérios e métodos de avaliação de desempenho para os principais sistemas que compõem um edifício: estrutura, pisos internos, vedações externas e internas, coberturas e instalações hidrossanitárias. Buscando isso, a norma abandona as exigências exclusivas quanto à qualidade de um determinado produto ou de um sistema e adota um novo conceito de desempenho das edificações que vai privilegiar as condições ideais (mínima, intermediária e superior) a serem atendidas por uma edificação ao longo de sua vida útil.

São estabelecidos critérios de desempenho térmico para edificações com até cinco pavimentos, onde são considerados os efeitos da transmissão de calor através dos sistemas de cobertura e de vedação (envoltória) em função das características físicas e funcionais dos materiais e dos sistemas de construção.

Esta norma está dividida em seis partes, cada uma delas subdividida em Requisitos, Critérios e Métodos de Avaliação:

- Parte 1: Requisitos gerais;
- Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais;
- Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos internos;
- Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas;
- Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas;

- Parte 6: Requisitos para sistemas hidrossanitários.

Nas suas partes 4 e 5 ela trata dos critérios de avaliação do desempenho térmico utilizando as propriedades de transmissão de calor dos elementos e sistemas construtivos de vedações verticais externas e coberturas.

Utilizando critérios como transmitância térmica, capacidade térmica, aberturas de ventilação e dispositivos de sombreamento, essa norma segue as definições, símbolos e unidades da ABNT NBR 15220, nas suas partes 1 e 3.

De acordo com a NBR 15.575 existem três métodos para cálculo do desempenho térmico de edificações: o método simplificado, o método de simulação e o método de medição.

A norma não cita a avaliação do desempenho através da medição como um método normativo e sim informativo. A continuidade das pesquisas e aprimoramento dos métodos de medição dos dados ambientais e pessoais pode contribuir para sua evolução, fornecendo cada vez mais subsídios para uma abordagem mais precisa dos procedimentos de avaliação do desempenho térmico de edificações através de medições.

O anexo A da parte 1 da NBR 15.575 prevê algumas condições para realização das medições, conforme mostrado a seguir:

Medir a temperatura de bulbo seco do ar no centro dos recintos dormitórios e salas, a 1,20m do piso. Para as medições de temperatura, seguir as especificações de equipamentos e montagem dos sensores, apresentadas na ISO 7726.

No caso de uma única unidade habitacional, medir nos recintos conforme indicado, tal como se apresentam;

Em conjunto habitacional de unidades térreas e edifícios multipiso, escolher uma ou mais unidades que possibilitem a avaliação nas condições estabelecidas a seguir:

- Verão: janela do dormitório ou sala voltada para Oeste e outra parede exposta voltada para Norte;
- Inverno: janela do dormitório ou sala de estar voltada para Sul e outra parede exposta voltada para Leste;
- No caso de edifício multipiso, selecionar unidades do último andar.

Caso as orientações das janelas dos recintos não correspondam exatamente às especificações anteriores, priorizar as unidades que tenham o maior número de paredes expostas e cujas orientações das janelas sejam mais próximas da orientação especificada.

Para a avaliação do desempenho térmico por medição, a NBR 15.575 estabelece ainda que a temperatura do ar deve ser medida no interior da edificação completamente fechada e sem utilização. Dessa forma, apenas o desempenho da envoltória pode ser verificado, porém sem considerar os efeitos da ventilação proporcionados por suas aberturas e orientação. O padrão de uso dos moradores também não é considerado nesta avaliação informativa sugerida pela norma.

Esses fatores desconsiderados na avaliação por medição possuem grande influência no desempenho térmico da edificação e podem alterar significativamente o desempenho verificado medindo-se a edificação fechada.

O critério mínimo de desempenho térmico para o verão recomendado pela NBR 15.575 é que a temperatura medida no interior da edificação fechada e sem uso seja igual ou inferior à temperatura externa em um dia típico de verão.

Para condições de inverno, a exigência mínima de desempenho requerida é que a temperatura do ar interno medida seja igual ou superior a temperatura do ar externo mais três graus.

A temperatura do ar externo no local da edificação tem grande importância no seu desempenho térmico e nas temperaturas do seu interior. A NBR 15.575 sugere que a temperatura do ar externo deve ser adotada segundo as temperaturas típicas de inverno e verão de 26 capitais brasileiras ou, para outras cidades, os valores da capital mais próxima, dentro da mesma região climática, com altitude de mesma ordem de grandeza.

A adoção de umas das temperaturas externas sugeridas na NBR 15.575 pode não corresponder com a precisão necessária às temperaturas reais das cidades onde se localizam os empreendimentos avaliados. A medição da temperatura do ar externo no mesmo período em que foi medida a temperatura do ar interno e no mesmo local da edificação é importante para maior precisão na classificação do seu desempenho térmico.

2.5 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Como pôde ser observado nas pesquisas revisadas, o método de avaliação do desempenho térmico através de medição tem sido utilizado por diversos autores em edificações com diferentes tipologias e parâmetros de análise.

O equipamento de medição utilizado pelos pesquisadores que se mostrou prático e com bons resultados obtidos nas pesquisas é o *datalogger* Hobo da Onset Corporation que para ser utilizado em ambientes externos precisa de uma barreira radiante ao seu redor.

As avaliações vistas verificaram também as propriedades térmicas dos elementos dos sistemas construtivos de acordo com as normas de desempenho vigentes. Essa verificação é um dos objetivos desta pesquisa.

A NBR 15.575 tem a avaliação de desempenho térmico através de medição como um procedimento que tem caráter informativo apenas. Além disso, segundo essa norma, as medições devem ser feitas com a edificação completamente fechada e sem ocupação, o que não representa a situação real de utilização de uma edificação onde as aberturas de ventilação e fontes de calor internas estão sendo usadas pelos habitantes. Esta pesquisa tem como objetivo a medição das temperaturas com as edificações ocupadas e em situações normais de utilização.

Os critérios adotados para a análise do desempenho térmico através dos dados registrados nas medições da temperatura do ar e que se mostraram mais adequados pelos autores das pesquisas consultadas, como amplitude térmica diária média pelo período semanal, amortecimento térmico e somatório de graus hora, entre outros, foram adotados neste trabalho.

Os melhores resultados de desempenho térmico para a região sul do Brasil foram obtidos, de acordo com as pesquisas consultadas, quando algumas estratégias de projeto são utilizadas em conjunto, como a inércia térmica nas paredes e o isolamento da cobertura.

Estratégias de projeto nem sempre são consideradas, principalmente em habitações de interesse social, porém com o avanço das pesquisas e das regulamentações de desempenho de edificações, alcançar um padrão satisfatório de desempenho térmico se tornará cada vez mais factível inclusive nas habitações de interesse social.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo estão apresentadas as etapas de desenvolvimento da pesquisa, os equipamentos utilizados, o critério para escolha das edificações monitoradas, os procedimentos de medição e coleta de dados e os parâmetros utilizados para avaliação do desempenho térmico.

Foi pesquisado o desempenho térmico de três sistemas construtivos utilizados em edificações multifamiliares pertencentes ao PAR e três sistema construtivos utilizados em residências unifamiliares construídas através do PSH localizados em cinco municípios do Estado de Santa Catarina.

Foi realizado o monitoramento das temperaturas do ar interno e externo às edificações avaliadas. As medições internas foram executadas de forma a não alterar o cotidiano e a realização das atividades diárias nas residências.

Os valores encontrados nas medições externas serviram de parâmetro para o estudo da amplitude da variação da temperatura do ar no interior das edificações. Essa variação foi relacionada com o sistema construtivo utilizado.

Os empreendimentos pesquisados foram definidos pela Caixa Econômica Federal que foi o órgão financiador das construções e que autorizou os pesquisadores do projeto Habitare FiNEP REDE I: Melhoria da qualidade e redução de custos na produção, recuperação e manutenção de moradias para faixas de menor renda da população.

Cada empreendimento é composto de várias unidades habitacionais, sendo necessária a escolha de algumas unidades apenas para realização do monitoramento da temperatura do ar no seu interior.

Como os empreendimentos estão divididos em edificações multifamiliares e unifamiliares, os critérios para escolha das unidades habitacionais foram diferentes para essas duas tipologias de edificação.

As edificações multifamiliares são os condomínios residenciais verticais, com blocos de quatro apartamentos por andar e dois ou quatro pavimentos, em um terreno fechado com acesso restrito. As residências unifamiliares, nos casos pesquisados, são residências térreas em terrenos individuais pertencentes a loteamentos horizontais ou espalhadas por diferentes áreas do município ao qual pertencem.

Para os condomínios multifamiliares a escolha foi realizada seguindo critérios de orientação solar e, principalmente, da

disponibilidade prática no dia das visitas para a instalação dos equipamentos. A instalação dos equipamentos só pode ser feita na unidade habitacional em que o morador estava em casa e permitiu a realização do monitoramento.

Nos loteamentos unifamiliares a residência monitorada escolhida foi aquela que apresentava menor interferência construtiva. Fato muito comum nas residências desse tipo de programa habitacional é a construção de puxados, anexos e agregados à edificação original descaracterizando assim o projeto e alterando o seu desempenho térmico.

Em cada empreendimento, além de monitorar o ambiente interno das unidades habitacionais também foram registrados os valores externos da temperatura do ar.

As unidades habitacionais estavam em uso normal durante o período monitorado para que o padrão de uso do morador pudesse ser considerado durante a análise do desempenho térmico da edificação.

A instalação dos equipamentos foi autorizada pelo morador, que se comprometeu a receber visitas periódicas do pesquisador para coleta de dados e reprogramação dos equipamentos.

Além das temperaturas internas, foram consideradas também, na avaliação do desempenho térmico das edificações, suas características físicas, propriedades térmicas dos elementos construtivos e padrões de uso do usuário.

As características físicas foram obtidas através dos dados de projeto disponibilizados pela Caixa Econômica Federal. As propriedades térmicas foram calculadas com base nos dados de projeto e nos procedimentos de cálculo descritos na NBR 15.220 parte 2 (ABNT, 2005).

Os valores de aceitabilidade das propriedades térmicas sugeridos nas normas NBR 15.220 parte 3 (ABNT, 2005) e NBR 15.575 partes 4 e 5 (ABNT, 2008) também foram verificados para análise do desempenho térmico.

Através de questionários de identificação dos padrões de uso da unidade habitacional e da satisfação dos moradores quanto à temperatura interna, aplicados durante as visitas técnicas, os resultados obtidos serviram para ponderar as análises de desempenho térmico das edificações.

As etapas de desenvolvimento da pesquisa de avaliação do desempenho térmico de habitações residenciais unifamiliares e multifamiliares no estado Santa Catarina podem ser resumidas conforme a Figura 1 a seguir:

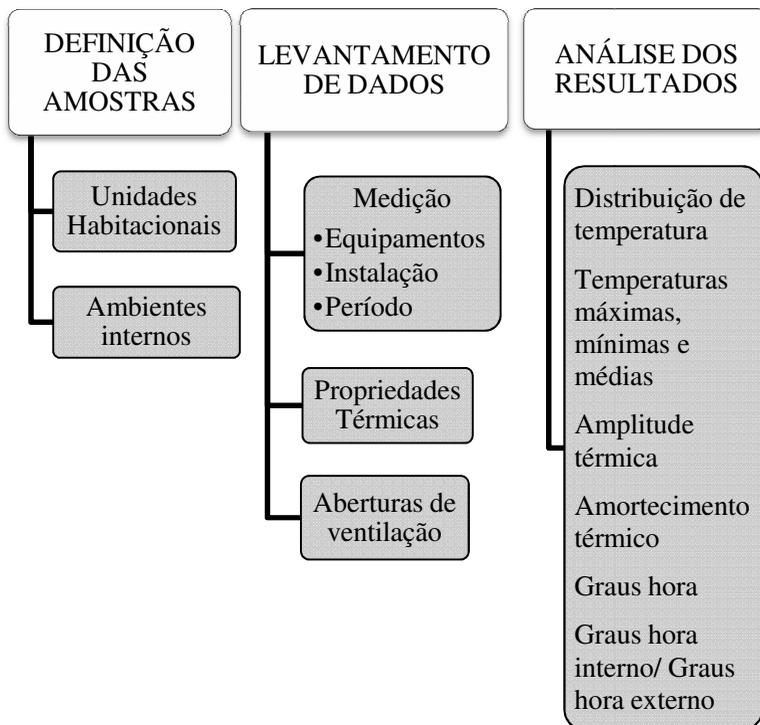


FIGURA 1: Estrutura das etapas de desenvolvimento da pesquisa.

3.1 ESCOLHA DAS UNIDADES HABITACIONAIS

Considerou-se uma unidade habitacional a residência (edificação unifamiliar) ou o apartamento (edificação multifamiliar) onde reside uma família. O procedimento de escolha das unidades habitacionais monitoradas foi diferente para as edificações multifamiliares e unifamiliares.

As cidades onde se localizam os empreendimentos, os sistemas construtivos utilizados estão indicados na Tabela 2.

TABELA 2: Empreendimentos monitorados, as cidades onde se localizam, seus sistemas construtivos e a tipologias

EDIFICAÇÕES UNIFAMILIARES			
Nome do empreendimento	Cidade	Sistema	Tipologia
BUONA VITA	Florianópolis	Alvenaria/ estrutura concreto armado	Multifamiliar
VILA PARAÍSO	Chapecó	Blocos estruturais concreto	Multifamiliar
CONSTANTINO CATANO	Joinville	Blocos estruturais cerâmicos	Multifamiliar
CASA DE MADEIRA	São Bonifácio	Madeira	Unifamiliar
CASA DE PVC	Jaraguá do Sul	PVC	Unifamiliar
CASA DE PLACAS DE CONCRETO	Jaraguá do Sul	Placas pré moldadas de concreto	Unifamiliar

O mapa da Figura 2 ilustra as localizações dos municípios dentro do contexto político de Santa Catarina.

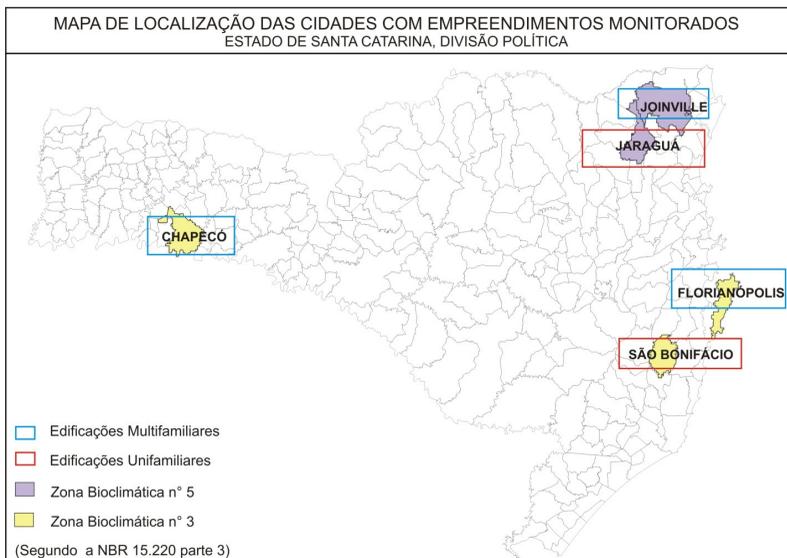


FIGURA 2: Mapa de localização das cidades onde existem empreendimentos monitorados.

3.1.1 EDIFICAÇÕES MULTIFAMILIARES

As edificações multifamiliares pesquisadas são três condomínios residenciais verticais, localizados em Florianópolis, Joinville e Chapecó. Dois deles possuem blocos de quatro pavimentos (Joinville e Chapecó) e um possui blocos de dois pavimentos (Florianópolis), todos com quatro apartamentos por pavimento.

Os condomínios multifamiliares possuem o mesmo pavimento tipo em todos os blocos, porém os blocos não possuem a mesma orientação solar. Pode-se observar na implantação do condomínio o posicionamento diferenciado de alguns blocos. Assim, as unidades habitacionais também estão sujeitas à diferentes orientações solares. Essa diferença na orientação solar dos blocos foi o primeiro critério de escolha das unidades habitacionais das edificações multifamiliares.

Em um edifício, a exposição solar tem grande influência no seu desempenho térmico. As fachadas expostas ao sol que sofrem maior influência da sua radiação na região sul do Brasil são a Norte e a Oeste. A fachada Norte por receber maior incidência direta dos raios solares e a Oeste porque recebe os raios solares no período da tarde, onde as temperaturas chegam aos valores máximos pois a edificação já

acumulou calor pela radiação solar recebida no período da manhã. As fachadas Sul e Leste, na região sul do Brasil, são menos influenciadas pela radiação solar, a fachada Sul porque recebe menor incidência direta dos raios solares e a Leste porque os recebe quando a edificação está mais fria devido ao período noturno.

O posicionamento da unidade habitacional no bloco também é fator importante na influência das condições climáticas. O primeiro pavimento sofre a influência do isolamento que as lajes dos outros pavimentos superiores causam. O último pavimento sofre influência direta da cobertura que recebe grande quantidade de radiação solar.

As unidades habitacionais expostas às condições climáticas mais extremas são as do último pavimento, com fachadas Norte e Oeste e as do primeiro pavimento com fachadas Sul e Leste.

Com o *layout* de implantação foi identificada a orientação solar de cada bloco. O Norte considerado foi o fornecido no projeto de implantação. As fachadas foram determinadas pelo maior perímetro exposto à cada orientação.

Assim ficaram definidas as unidades habitacionais com fachadas Norte e Oeste do último pavimento e as unidades habitacionais com as fachadas Sul e Leste do primeiro pavimento.

O segundo e principal critério foi a disponibilidade prática, verificada no dia da visita técnica, quando foi feito contato com os moradores e pedida a autorização para realização da pesquisa. Foi necessária a autorização para instalar os equipamentos e retornar em visitas periódicas para coleta de dados.

Dentre as unidades escolhidas para o monitoramento apenas duas unidades obtiveram autorização dos moradores, as outras quatro foram escolhidas na hora, durante a visita técnica conforme a presença e autorização do morador responsável.

O procedimento de definição das amostras seguiu a seguinte ordem:

- Identificação da orientação solar do layout de implantação do empreendimento;
- Análise do layout da planta baixa do edifício em relação à orientação solar;
- Verificação das fachadas Norte e Oeste;
- Verificação das fachadas Sul e Leste;
- Escolha, em cada bloco, das unidades habitacionais do último pavimento com fachadas Norte e Oeste;

- Escolha, em cada bloco, das unidades habitacionais do primeiro pavimento com fachadas Sul e Leste;
- Verificação em campo de quais unidades habitacionais, dentre as selecionadas, seria autorizada a realização da pesquisa.
- Buscar outra unidade habitacional caso não fosse possível monitorar nenhuma das escolhidas.

A escolha dos ambientes internos onde foram instalados os equipamentos depende de uma análise que deve considerar os fatores técnicos, sociais e de segurança do equipamento, uma vez que as unidades habitacionais estavam em uso normal e a presença do equipamento não deveria alterar a rotina diária dos moradores e frequentadores da casa.

De acordo com o anexo A da parte 1 da NBR 15.575 (ABNT, 2008) algumas condições para realização das medições foram seguidas, conforme a possibilidade de aplicação e as limitações impostas pelas condições de uso e ocupação da edificação.

Quando as orientações das janelas dos recintos não correspondessem exatamente às especificações indicadas, foram priorizadas as unidades que tivessem o maior número de paredes expostas e cujas orientações das janelas fossem mais próximas da orientação especificada.

3.1.2 EDIFICAÇÕES UNIFAMILIARES

Os municípios onde se localizam as residências são Jaraguá do Sul e São Bonifácio. As residências fazem parte de um loteamento específico em Jaraguá do Sul e estão espalhadas por diversas partes do município em São Bonifácio.

Nos loteamentos horizontais unifamiliares a variação da orientação solar não influencia de maneira significativa os efeitos da exposição à radiação solar, pois todas as residências têm as quatro fachadas externas, o que praticamente anula qualquer ganho extra de radiação devido a maior exposição solar de uma delas.

Dessa forma o critério para escolha das unidades monitoradas foi a disponibilidade de realização do monitoramento junto aos moradores, primeiro verificando se havia alguém em casa e depois se era permitida a instalação do equipamento e o retorno do pesquisador para coleta dos dados.

Nas residências unifamiliares foi monitorado apenas um ambiente, considerou-se não significativa a diferença nas temperaturas dos ambientes internos. O ambiente monitorado foi a sala, pois é o maior ambiente da casa com maiores fachadas externas e também está localizado na parte mais central da residência.

A planta baixa das unidades habitacionais e os locais de instalação dos equipamentos estão no capítulo a seguir de descrição dos empreendimentos.

3.2 LEVANTAMENTO DE DADOS

Foi monitorada a temperatura do ar nos ambientes do interior das unidades habitacionais e também no exterior da edificação. Esses dados foram registrados e armazenados no equipamento *datalogger* e posteriormente descarregados através do programa Box Car Pro 4.3 e tratados em planilha Excel.

Os dados utilizados para o cálculo das propriedades térmicas foram obtidos nos projetos disponibilizados pela Caixa e pelas construtoras e também levantados nas visitas técnicas aos empreendimentos.

3.2.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Foram utilizados 20 *dataloggers* da OnSet Corporation modelo HOB0 H08-003-2 como medidores e gravadores dos valores da temperatura de bulbo seco do ar pertencentes ao Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - LabEEE da UFSC.

Os sensores dos *dataloggers* HOB0 operam na faixa de temperaturas de -40°C a $+120^{\circ}\text{C}$, e armazenam valores de -40°C a $+75^{\circ}\text{C}$. A precisão da faixa de temperaturas que foram feitas as medições é de 0,7 K, e a resolução 0,4 K.

A Figura 3 a seguir mostra a foto de um *datalogger* HOB0 utilizado para monitorar a temperatura do ar no interior e exterior das edificações pesquisadas.



FIGURA 3: Datalogger modelo HOB0 H08-003-2

Segundo Lamberts e Xavier (2002), para medir a temperatura do ar devem ser tomados cuidados para se proteger o sensor utilizado contra os efeitos da radiação proveniente de superfícies vizinhas, pois senão o valor medido não será o correto da temperatura do ar, mas sim um valor intermediário entre a temperatura do ar e a temperatura média radiante.

3.2.2 INSTALAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

Os equipamentos foram fixados em móveis existentes no ambiente, normalmente mesas, armários ou moveis. O afastamento da parede que recebe os raios solares foi mantido para evitar interferência por radiação do calor incidente e acumulado pela parede exposta.

Nas residências com apenas um equipamento, este foi mantido o mais próximo possível do centro do ambiente, também fixado em algum móvel ou suporte.

Nas áreas externas o equipamento foi protegido por uma barreira radiante para evitar a influência da radiação sobre as medições. Também na área externa, foram escolhidos locais que garantissem a segurança dos equipamentos.

A barreira radiante utilizada nos equipamentos das áreas externas foi feita com papelão e papel alumínio de maneira que protegesse os

equipamentos das radiações e das intempéries e garante a livre circulação do ar, como mostra a Figura 4.



FIGURA 4: Preparação do dispositivo de proteção para os equipamentos da área externa.

3.2.3 PERÍODO DE MEDIÇÃO

O monitoramento da temperatura de bulbo seco foi feito entre os meses de setembro de 2008 e junho de 2009. O intervalo entre os registros utilizado foi de uma hora.

Dentro do tempo total da pesquisa, a disponibilidade dos equipamentos e de realização das visitas aos locais condicionou os períodos de monitoramento individual das unidades habitacionais pesquisadas.

Foi selecionado então, o intervalo onde as medições foram simultâneas em todos os empreendimentos multifamiliares e da mesma forma nos unifamiliares. Utilizando esse intervalo comum foi possível comparar os dados obtidos para a avaliação do desempenho térmico nas edificações enquanto elas estivessem sujeitas às mesmas variações de temperatura externa.

O período de monitoramento utilizado para os empreendimentos multifamiliares foi de setembro de 2008 a junho de 2009. Para as edificações unifamiliares o período foi de novembro de 2008 a junho de 2009.

3.2.4 CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS

Os sistemas construtivos utilizados tiveram suas propriedades térmicas calculadas em função das características físicas dos seus elementos e de seus materiais. O procedimento utilizado para os cálculos foi feito segundo o indicado na NBR 15.220 parte 2 (2005).

Foram calculados os valores das seguintes propriedades térmicas:

3.2.4.1 Resistência térmica;

A Resistência térmica foi calculada para os diversos componentes dos sistemas construtivos. Considerou-se cada componente com camadas homogêneas perpendiculares ao fluxo de calor. Com a composição de cada componente, primeiro calculou-se a resistência individual dos componentes e depois a resistência térmica final considerada de ambiente a ambiente. Assim, o cálculo da resistência térmica foi realizado utilizando-se as expressões:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (1)$$

Onde:

e: espessura da camada do material

λ : calor específico do material

E

$$R_t = R_{t1} + R_{t2} + \dots + R_{tn} + R_{ar1} + R_{ar2} + \dots + R_{arn}. \quad (2)$$

Onde:

R_{t1} , R_{t2} , ..., R_{tn} são as resistências térmicas das n camadas homogêneas, determinadas pela expressão 1;

R_{ar1} , R_{ar2} , ... , R_{arn} são as resistências térmicas das n câmaras de ar, obtidas da tabela B.1 do anexo B da NBR 15.220 parte 2 (2005).

A resistência térmica de ambiente a ambiente foi calculada utilizando-se da expressão:

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si}. \quad (3)$$

Onde:

R_T : Resistência térmica Total de ambiente a ambiente;

Rse: é a resistência superficial externa, obtida da tabela A.1 do anexo A;

Rt: é a resistência térmica de superfície a superfície, determinada pela expressão 2;

Rsi: é a resistência superficial interna, obtida da tabela A.1 do anexo A.

3.2.4.2 Transmitância térmica;

A transmitância térmica é definida como a razão inversa da resistência térmica, então a formula utilizada foi:

$$U = 1/R_T \quad (4)$$

3.2.4.3 Capacidade térmica;

A capacidade térmica de um componente plano constituído de camadas homogêneas e não homogêneas perpendiculares ao fluxo de calor, é determinada pela expressão:

$$C_T = \frac{A_a + A_b + A_c}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + \frac{A_b}{C_{Tb}} + \frac{A_c}{C_{Tc}}} \quad (5)$$

Onde:

CTa, CTb, ... , CTn são as capacidades térmicas do componente para cada seção (a, b, ..., n), determinadas pela expressão 3;

Aa, Ab, são as áreas de cada seção An.

3.2.4.4 Atraso Térmico;

No caso de um componente formado por diferentes materiais superpostos em "n" camadas paralelas às faces (perpendiculares ao fluxo de calor), o atraso térmico varia conforme a ordem das camadas. Para calor específico quando em (kJ/(Kg.K)), o atraso térmico é determinado através das expressões 6, 7 e 8 e 9.

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2} \quad (6)$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{R_0}{R_t} \quad (7)$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left(\frac{(\varphi \cdot \rho \cdot c)_{ext}}{R_t} \right) \cdot \left(R_{ext} \frac{R_t - R_{ext}}{10} \right) \quad (8)$$

$$B_0 = CT - C_{text} \quad (9)$$

Onde:

CT é a capacidade térmica total do componente;

CText é a capacidade térmica da camada externa do componente.

3.2.4.5 Fator Solar.

$$FS = 4 \cdot U \cdot \alpha \quad (10)$$

Onde:

U = Transmitância térmica

α = absorptância

Para o cálculo do Fator Solar a absorptância utilizada foi a indicada na tabela B2 da parte 2 da NBR 15.220 (ABNT, 2005) de acordo com a cor verificada para cada fachada.

O valor das áreas de abertura das janelas também foi calculado e o resultado foi verificado de acordo com os valores indicados nas normas NBR 15.575 e NBR 15.220, assim como os valores das propriedades térmicas encontradas.

As áreas de abertura das janelas dos ambientes que foram monitorados foram calculadas e foi considerada para verificação apenas a área útil que é a área onde ocorre passagem do ar. Essa área de abertura útil foi comparada com a área do piso do mesmo ambiente. A razão entre esses valores foi verificada conforme as normas.

Os dados utilizados nos cálculos foram obtidos através de análise dos projetos dos empreendimentos disponibilizados e também durante as visitas técnicas.

3.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos com as medições foram analisados observando seu sistema construtivo e suas unidades habitacionais, dentro dos agrupamentos multifamiliares e unifamiliares.

Os resultados obtidos para as propriedades térmicas foram considerados complementares na avaliação do desempenho térmico

elucidando algum ponto específico ou esclarecendo comportamentos verificados nos valores medidos.

Para a avaliação, foram utilizados parâmetros calculados com os dados obtidos nas medições de cada ambiente no período de uma semana, escolhida por representar um período quente e outra semana que represente um período frio. Para escolha dessas semanas foi plotado o gráfico da distribuição das temperaturas externas durante todo o período de monitoramento (registros a cada hora) e foi escolhida a semana que teve dias com os maiores picos de temperatura máxima para o período quente e a semana que teve os dias com os menores valores de temperatura para o período frio.

As semanas escolhidas não foram necessariamente as mesmas, uma vez que os empreendimentos localizam-se em regiões diferentes e por isso, os extremos de temperatura externa ocorreram em períodos diferentes.

Os parâmetros utilizados para avaliação do desempenho térmico através dos resultados obtidos nas medições foram:

- Distribuição de temperatura
- Amplitude térmica
- Amortecimento térmico
- Somatório de Graus-hora
- Relação entre o somatório de graus- hora interno e externo.

A seguir estão descritos cada um dos parâmetros utilizados na avaliação dos empreendimentos.

3.3.1 DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURAS

As temperaturas do ar para cada ambiente monitorado na unidade habitacional foram plotadas em um gráfico semanal. Os valores obtidos nas unidades habitacionais de cada sistema construtivo foram comparados com o valor da temperatura externa. O período apresentado foi uma semana de temperaturas mais quentes e uma de temperaturas mais frias.

Esse critério de avaliação permite uma boa observação gráfica das variações horárias internas e externas da temperatura do ar e a comparação entre os ambientes monitorados ao longo do período escolhido.

Durante essa semana foram também calculadas as temperaturas máximas mínimas e médias para os ambientes internos e também externos de cada edificação.

3.3.2 AMPLITUDE TÉRMICA

A comparação entre a amplitude térmica média diária externa e interna de cada unidade habitacional serviu para a avaliação da capacidade dos componentes da edificação em atenuar as temperaturas máximas e mínimas ocorridas externamente e transmitidas ao seu interior.

Essas amplitudes foram calculadas fazendo-se a média do resultado da subtração entre o valor máximo e mínimo diário da temperatura do ar registrada no exterior e no interior de cada unidade habitacional durante as semanas representativas escolhidas.

$$A_m \text{ diária} = \frac{\sum_n^i (T_{max} - T_{min})}{n} \quad (11)$$

3.3.3 AMORTECIMENTO TÉRMICO

O amortecimento térmico foi calculado como a relação entre a amplitude média diária das temperaturas do ar internas das unidades habitacionais de cada sistema construtivo com a amplitude média diária das temperaturas do ar externas durante as semanas escolhidas.

O valor dessa relação é subtraído de 1 para indicar o valor mais ilustrativo do amortecimento térmico. Assim, o valor máximo do amortecimento tende a um (100%), enquanto o valor mínimo do amortecimento tende a 0 (0%).

$$\text{Amortecimento} = 1 - \left(\frac{A_{md \text{ int}}}{A_{md \text{ ext}}} \right) \quad (12)$$

3.3.4 SOMATÓRIO DE GRAUS-HORA

O somatório de graus-hora foi calculado para todo o período monitorado, que se inicia em setembro de 2008 para as edificações

multifamiliares e em novembro de 2008 para as unifamiliares, indo até a primeira semana de junho de 2009 para os dois casos.

O somatório de graus-hora foi determinado usando-se as duas temperaturas limites e fazendo-se o somatório dos graus que excedessem e estivessem abaixo destes limites. Esse somatório indica quantos graus-hora a temperatura do ar do ambiente esteve fora dos limites durante o período monitorado.

Foram consideradas duas temperaturas limites, uma superior e uma inferior. A temperatura limite superior adotada para análise de calor foi 26°C e a temperatura limite inferior adotada para análise de frio foi 18°C.

Esses valores para as temperaturas limite foram escolhidos a partir da zona de conforto térmico de Givoni para países em desenvolvimento que vai de 18°C a 29°C. Porém, como a avaliação não está considerando conforto térmico e sim desempenho térmico, a temperatura limite superior foi reduzida para 26°C para que houvesse maior quantidade de dados registrados.

As temperaturas foram registradas de hora em hora e o número de horas em que a temperatura se encontra acima e abaixo dos limites adotados também foi somado e indica quanto tempo fora dos limites o interior da edificação permaneceu.

Foi calculado também o grau-médio que é a razão do somatório de graus-hora pelo número de horas registradas fora dos limites adotados, ou seja, a média dos graus-hora.

3.3.5 RELAÇÃO ENTRE O SOMATÓRIO DE GRAUS-HORA INTERNO E EXTERNO

Por fim a relação entre o somatório de graus-hora interno (para as duas temperaturas limite) e o somatório de graus-hora externo mostra em porcentagem, o quanto a temperatura do ar interno foi reduzida em relação a temperatura do ar externo à edificação durante o mesmo período.

4 DESCRIÇÃO DOS EMPREENDIMENTOS

Dos seis empreendimentos pesquisados, três são edificações residenciais multifamiliares (blocos de dois e quatro pavimentos) e três são edificações residenciais unifamiliares (casas térreas).

As cidades onde se localizam as edificações multifamiliares são: Florianópolis, Chapecó e Joinville. Em São Bonifácio e Jaraguá do Sul situam-se as edificações unifamiliares.

De acordo com a definição das zonas bioclimáticas constante na terceira parte da NBR 15.220, estas cidades situam-se nas zonas bioclimáticas números 3 e 5.

O mapa político do Estado de Santa Catarina apresentado na Figura 2 do capítulo 3.1 mostra as cidades onde estão localizados os empreendimentos juntamente com a identificação das respectivas zonas bioclimáticas indicadas na legenda de acordo com as cores.

Em cada empreendimento elucidado neste capítulo foi utilizado um sistema construtivo distinto. Os empreendimentos multifamiliares constituem-se por vários blocos de apartamentos que, obrigatoriamente, compõem um condomínio. Os empreendimentos unifamiliares são formados por residências térreas e podem, ou não, pertencer a um loteamento.

Na descrição desses empreendimentos observaram-se o contexto geográfico, as condições do entorno, bem como, suas características físicas, áreas úteis, áreas externas, sistema construtivo utilizado, características internas dos ambientes monitorados e os padrões de uso.

Os empreendimentos foram separados por sua tipologia e caracterizados como: multifamiliares e unifamiliares.

4.1 EDIFÍCIOS MULTIFAMILIARES

4.1.1 Empreendimento 01, Buona Vitta: ALVENARIA CONVENCIONAL

4.1.1.1 Localização

O empreendimento Condomínio Residencial Buona Vita está situado no bairro de Canasvieiras, Norte da Ilha de Florianópolis.

A cidade de Florianópolis, de acordo com a NBR 15.220 parte 3, está localizada na zona bioclimática 3 e o empreendimento está inserido em uma região que possui ocupação consolidada e boa infra-estrutura urbana.

Ao Norte do condomínio, distante aproximadamente 1.250 metros, fica a praia de Canasvieiras. À Oeste situa-se um morro com altura aproximada de 135 metros e vegetação preservada, cuja base está a 50 metros da entrada do condomínio. Ao Sul existe uma pequena área de ocupação residencial com espaços de vegetação rasteira em terrenos ainda não edificadas. À Leste, vegetação preservada em grande área plana por onde passa a uma distância aproximada de 380 metros do condomínio, a rodovia de acesso ao bairro (SC 401).

A seguir na Figura 5 pode-se observar imagem de satélite com a localização do empreendimento e as características do seu entorno.

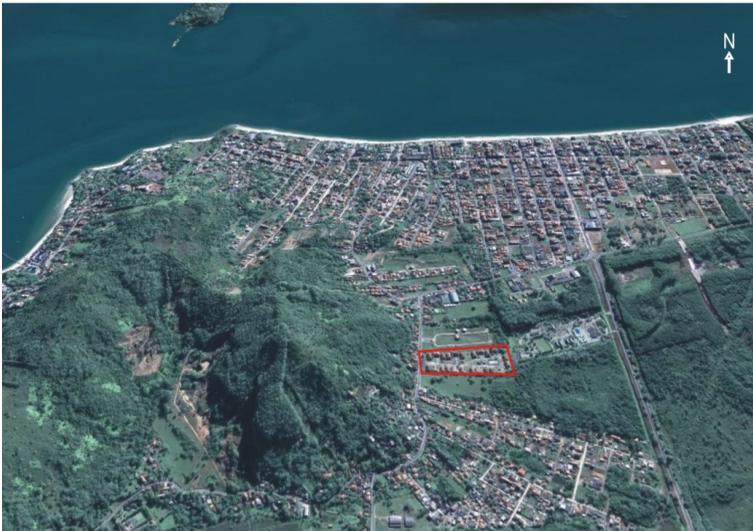


FIGURA 5: Imagem de satélite com local de implantação do condomínio Buona Vita. Fonte: Google Earth (2010)

4.1.1.2 Características Físicas

O Condomínio Residencial Multifamiliar Buona Vita é constituído por 25 blocos de dois pavimentos e quatro apartamentos por andar, sendo o térreo considerado o primeiro pavimento.

Cada pavimento possui quatro unidades habitacionais de 56 metros quadrados, divididos em dois quartos, um banheiro, uma sala e uma cozinha.

São ao todo 200 unidades habitacionais, sendo que o condomínio possui instalações externas de uso comum como: quadra de esporte, quiosque com churrasqueira e banheiros, áreas verdes de jardim e estacionamento. Além disso, os blocos estão afastados entre si aproximadamente 5 metros.

A Figura 6 exibe a fachada de um dos blocos do condomínio, onde pode-se ver detalhes de dois blocos, seus estacionamentos e áreas verdes ao redor dos blocos. As cores da fachada também aparecem. A cor predominante, azul claro, foi adotada para escolha do α para os cálculos das propriedades térmicas.



FIGURA 6: Fachadas dos blocos e área externa do condomínio Buona Vita

4.1.1.3 Unidades Habitacionais Pesquisadas

Foram escolhidas as possíveis unidades monitoradas, observando os casos extremos em relação à orientação solar e seu posicionamento no primeiro e no último pavimento.

Durante a visita técnica, em nenhuma das unidades habitacionais previamente identificadas em função da orientação solar, foi possível a

instalação dos equipamentos. Assim outras unidades precisaram ser escolhidas. Essa escolha foi feita pela disponibilidade encontrada. As unidades habitacionais do empreendimento de alvenaria convencional onde foram instalados os equipamentos de medição foram a Uh 102 BI 19 e a Uh 201 BI 24.

As Figuras 7 e 8 ilustram a planta baixa do pavimento tipo dos blocos 19 e 24 e os ambientes no interior das unidades habitacionais onde estão instalados os equipamentos.

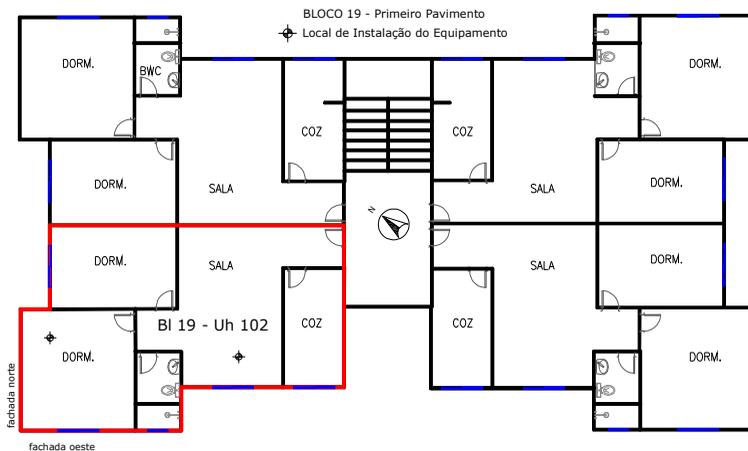


FIGURA 7: Planta baixa do pavimento tipo do condomínio Buona Vita, Bloco 19, com indicação do local de instalação dos equipamentos.

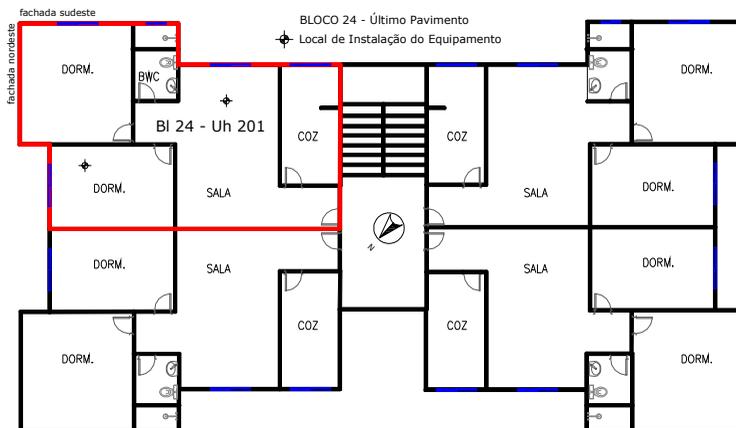


FIGURA 8: Planta baixa do pavimento tipo do condomínio Buona Vita, Bloco 24, com indicação do local de instalação dos equipamentos.

4.1.1.4 Padrões de ocupação:

As duas unidades habitacionais com equipamentos instalados para o monitoramento foram investigadas quanto aos padrões de uso para identificação dos fatores referidos aos usuários que tenham relação com o comportamento térmico da unidade habitacional e possam influenciar os resultados obtidos.

A unidade do térreo (Uh 102 BI 19) é ocupada por uma família de quatro pessoas e a unidade da cobertura (Uh 201 BI 24), por uma família de cinco pessoas, tendo como padrão casal com filhos. As esposas e as crianças passam grande parte do dia em casa fazendo atividades domésticas.

Na unidade da cobertura as janelas permanecem a maior parte do tempo abertas, devido à segurança do último andar, que permite que as janelas fiquem abertas mesmo quando ninguém esteja em casa. Durante a noite são fechadas apenas nos dias frios de inverno.

A unidade do térreo permanece mais tempo com as janelas fechadas mesmo com a presença dos moradores em casa, devido à sua menor segurança, visto que as janelas do primeiro pavimento são acessíveis pelo lado externo da edificação.

Nenhuma unidade habitacional possui equipamento que proporcione ganhos térmicos internos significativos.

4.1.1.5 Sistema Construtivo

O sistema construtivo utilizado nesse empreendimento foi estrutura de concreto armado e fechamento de alvenaria convencional com blocos cerâmicos de seis furos e reboco com pintura nos dois lados. A construção foi realizada por uma empresa construtora privada através do Programa de Arrendamento Residencial – PAR, a mesma foi concluída e entregue no ano de 2002, quando se iniciou a ocupação pelos moradores.

A cobertura dos blocos é do tipo telha-ar-laje, com telhas cerâmicas do tipo capa-canal um pouco escurecidas por exposição à intempérie, porém mantendo predominante a cor de cerâmica. A laje de concreto é do tipo pré-moldada e blocos cerâmicos.

A pintura externa das paredes é feita com tinta acrílica em tons claros de verde e azul. Os detalhes nas fachadas feitos com pinturas mais escuras foram utilizados na espessura da laje entre os pavimentos e sob as janelas, ocupando uma área muito pequena da superfície externa das paredes.

As janelas não possuem proteção solar nem venezianas, as esquadrias são de alumínio em 2 folhas de correr com vidro transparente de 3mm e a abertura útil é 50% da área total da janela.

As Figuras 9 e 10 mostram os detalhes construtivos das paredes e da cobertura do edifício de estrutura de concreto armado e alvenaria convencional.

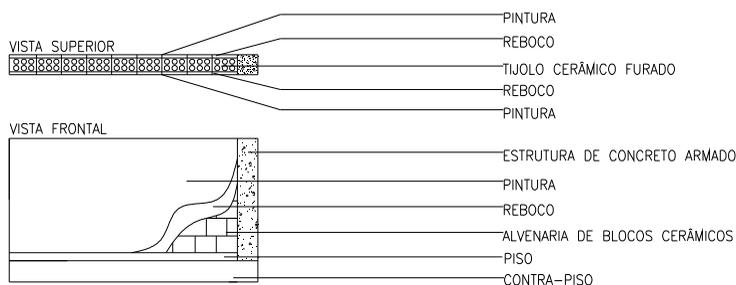


FIGURA 9: Detalhe construtivo das paredes do condomínio Buona Vita

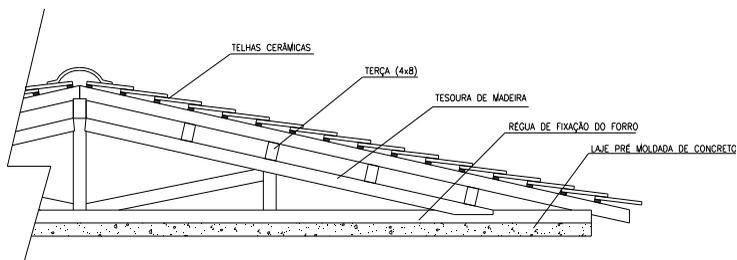


FIGURA 10: Detalhe construtivo da cobertura do condomínio Buona Vita

4.1.2 Empreendimento 02, Vila Paraíso: ALVENARIA ESTRUTURAL (blocos de concreto)

4.1.2.1 Localização

O empreendimento Condomínio Residencial Multifamiliar Vila Paraíso está localizado no município de Chapecó que, de acordo com a NBR 15.220 parte 3, está localizada na zona bioclimática 3.

O empreendimento está inserido em uma região de expansão urbana, a oeste do eixo central da cidade, na divisão entre a ocupação urbana de residências com sistema viário pavimentado e a região de vegetação alta e terrenos vazios com pastos ou gramados e ruas não pavimentadas. No lado Oeste do condomínio existe uma área de vegetação preservada que se estende por todo o contorno sul da região do condomínio.

A Figura 11 mostra uma imagem de satélite com a localização do empreendimento e as características do seu entorno.



FIGURA 11: Imagem de satélite com local de implantação do condomínio Vila Paraíso. Fonte: Google Earth (2010)

4.1.2.2 Características Físicas

O Condomínio Residencial Multifamiliar Vila Paraíso é um condomínio vertical constituído por 9 blocos de quatro pavimentos e quatro apartamentos por andar, sendo o térreo considerado o primeiro pavimento.

Cada pavimento possui quatro unidades habitacionais de 40 metros quadrados de área útil, divididos em dois quartos, um banheiro, sala e cozinha.

O condomínio Vila Paraíso possui ao todo 144 unidades habitacionais e o condomínio possui instalações externas de uso comum como playground infantil, salão de festas, quiosque com churrasqueira e banheiros, quadra de esporte, áreas verdes de jardim e estacionamento. O afastamento entre os blocos é de aproximadamente 6 metros.

A Figura 12 mostra a fachada dos blocos do condomínio, onde aparecem detalhes da pintura das fachadas e do sistema viário interno do condomínio e das áreas verdes ao redor dos blocos.



FIGURA 12: Rua interna principal e blocos do condomínio Vila Paraíso.

4.1.2.3 Unidades Habitacionais Pesquisadas

Para o condomínio Vila Paraíso também foram escolhidos dois apartamentos de cada bloco observando os casos extremos em relação à orientação solar e um localizado no primeiro pavimento e o outro no último pavimento.

A visita técnica mais uma vez definiu quais as unidades habitacionais dentre as identificadas puderam ser realmente monitoradas. Essa definição foi feita em função da autorização e disponibilidade do morador em permitir a realização da pesquisa em sua residência.

Neste condomínio não houve nenhuma unidade dentre as identificadas que estivesse disponível. Então procurou-se outras unidades que pudessem ser pesquisadas. As unidades que receberam os equipamentos de medição foram a unidade do térreo (Uh 103 B1 A) e a unidade da cobertura (Uh 401 B1 D).

As Figuras 13 e 14 mostram a planta baixa do pavimento tipo dos blocos A e D e os ambientes no interior das unidades habitacionais com os equipamentos instalados.

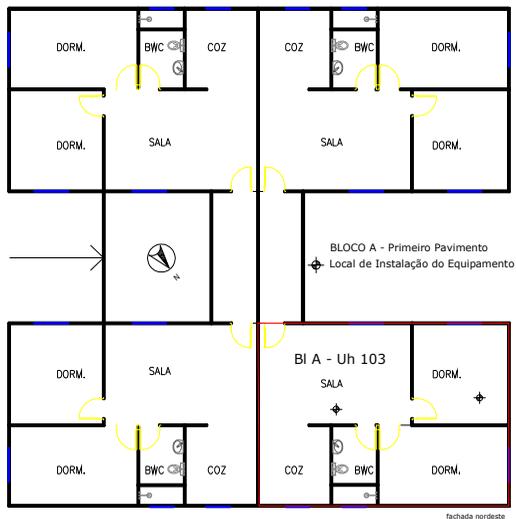


FIGURA 13: Planta baixa do pavimento tipo do condomínio Vila Paraíso, Bloco A, com a identificação do local de instalação dos equipamentos.

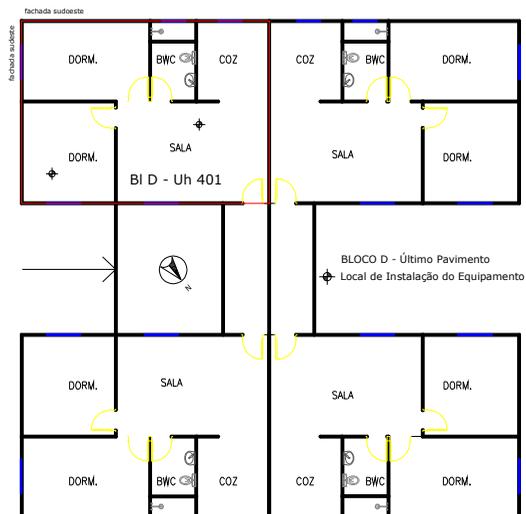


FIGURA 14: Planta baixa do pavimento tipo do condomínio Vila Paraíso, Bloco D, com a identificação do local de instalação dos equipamentos.

4.1.2.4 Padrões de ocupação:

As duas unidades habitacionais que tiveram equipamentos instalados para o monitoramento foram então investigadas para identificação dos fatores relacionados aos usuários que tenham ligação com o comportamento térmico da unidade e possam influenciar os resultados obtidos.

As unidades habitacionais são ocupadas por um casal sem filhos no caso da unidade do térreo (Uh 103 BI A) e por um casal com dois filhos na unidade da cobertura (Uh 401 BI D).

A unidade do térreo possui um ventilador fixo no quarto do casal, a unidade da cobertura apenas um ventilador portátil usado na sala ou no quarto do casal.

As janelas, no verão, passam a maior parte do tempo abertas na unidade do térreo e no inverno, mais fechadas, sendo este também o padrão de uso das janelas na unidade da cobertura.

Nenhuma unidade habitacional possui equipamento que proporcione ganhos térmicos internos significativos.

4.1.2.5 Sistema Construtivo

O sistema construtivo utilizado nesse empreendimento foi alvenaria estrutural de blocos de concreto com reboco em ambos os lados. A construção foi feita por uma empresa construtora privada, através do Programa de Arrendamento Residencial - PAR e foi concluído e entregue no ano de 2004 quando se iniciou a ocupação pelos moradores.

A cobertura dos blocos é do tipo telha-ar-laje, com telhas de fibrocimento de 6mm escurecidas por acúmulo de sujeira e laje do tipo pré-moldada de concreto e blocos cerâmicos.

A pintura externa das paredes é feita com tinta acrílica em tons claros de amarelo, verde e azul. Os detalhes nas fachadas feitos com pinturas mais escuras localizam-se na platibanda da cobertura do bloco.

As janelas não possuem proteção solar nem venezianas, as esquadrias são de alumínio em 2 folhas de correr com vidro transparente 3mm e abertura útil 50% da área total da janela.

As Figuras 15 e 16 mostram os detalhes construtivos das paredes e da cobertura do edifício de alvenaria estrutural de blocos de concreto.

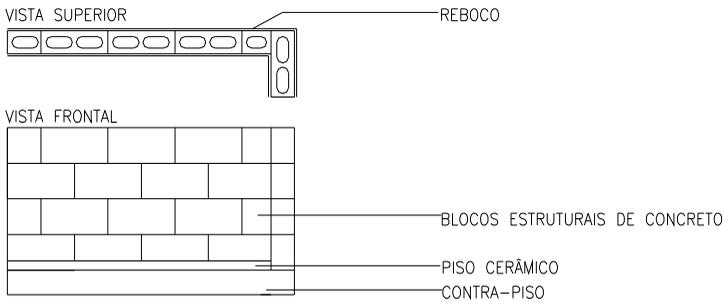


FIGURA 15: Detalhe construtivo das paredes do condomínio Vila Paraíso.

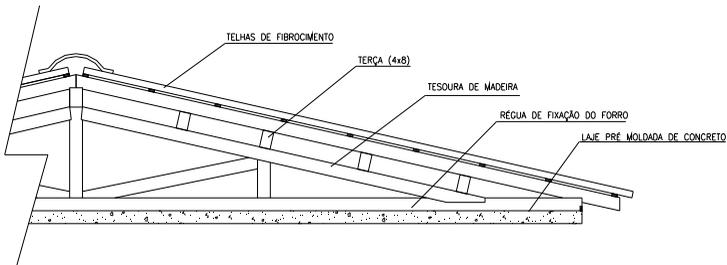


FIGURA 16: Detalhe construtivo da cobertura do condomínio Vila Paraíso.

4.1.3 Empreendimento 03, Constantino Caetano: ALVENARIA ESTRUTURAL (blocos cerâmicos)

4.1.3.1 Localização

O empreendimento Condomínio Residencial Multifamiliar Constantino Caetano está localizado no município de Joinville.

A cidade de Joinville, de acordo com a NBR 15.220 parte 3, está localizada na zona bioclimática 5 e o empreendimento está inserido em uma região de expansão urbana, onde ainda existem pequenas áreas de vegetação preservada em meio aos novos loteamentos e condomínios criados na região.

A imagem de satélite mostrada na Figura 17, obtida do programa Google Earth, não é atual e algumas das áreas verdes já estão ocupadas por outros empreendimentos.

No terreno ao lado existe uma área com cobertura vegetal baixa e não há outros edifícios altos no entorno do local do condomínio.



FIGURA 17: Imagem de satélite com local de implantação do condomínio Constantino. Fonte: Google Earth (2008).

4.1.3.2 Características Físicas

O Condomínio Residencial Multifamiliar Constantino Caetano é um condomínio vertical constituído por sete blocos de quatro pavimentos e quatro apartamentos por andar, sendo o primeiro, o pavimento térreo.

Cada pavimento possui quatro unidades habitacionais de 43 metros quadrados de área útil, divididos em dois quartos, um banheiro, sala e cozinha.

São ao todo 112 unidades habitacionais e o condomínio possui instalações externas de uso comum como playground infantil, salão de festas com churrasqueira e banheiros e áreas verdes de jardim e estacionamento. Os blocos estão afastados aproximadamente 12 metros entre si.

A Figura 18 é uma imagem da entrada do condomínio, onde pode-se ver a rua principal e os blocos alinhados a esquerda e a direita.



FIGURA 18: Entrada principal do condomínio Constantino Caetano.

4.1.3.3 Unidades Habitacionais Pesquisadas

Dois apartamentos escolhidos de cada bloco também foram os casos extremos em relação à orientação solar e com um no primeiro pavimento e o outro no último pavimento.

As unidades habitacionais onde foram instalados os equipamentos de medição no empreendimento de Joinville foram a unidade do térreo (Uh 101 B1 6) e a unidade da cobertura (Uh 404 B1 4).

Cada unidade habitacional monitorada teve equipamentos instalados em dois ambientes internos escolhidos conforme a presença de paredes voltadas para as orientações norte e oeste e voltadas para as orientações sul e leste, conforme recomendado na norma NBR 15.575.

As Figuras 19 e 20 mostram as plantas baixas do pavimento tipo dos blocos 4 e 6, os ambientes no interior e o local de instalação dos equipamentos.

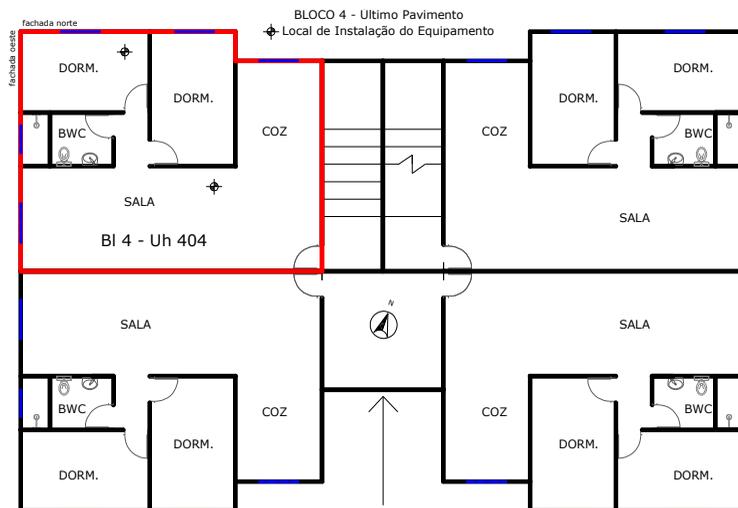


FIGURA 19: Planta baixa do pavimento tipo do condomínio Constantino Caetano, Bloco 4, com indicação do local de instalação dos equipamentos.

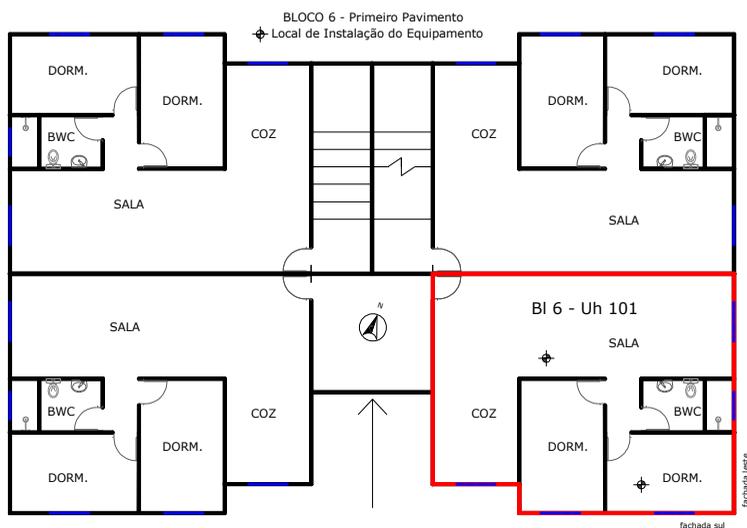


FIGURA 20: Planta baixa do pavimento tipo do condomínio Constantino Caetano, Bloco 6, com indicação do local de instalação dos equipamentos.

4.1.3.4 Padrões de ocupação:

As duas unidades habitacionais que tiveram equipamentos instalados para o monitoramento foram então investigadas quanto aos padrões de uso para identificação dos fatores relacionados aos usuários que tenham ligação com o comportamento térmico da unidade. e possam influenciar os resultados obtidos.

As unidades habitacionais são ocupadas por famílias de um casal sem filhos no caso da unidade da cobertura (Uh 404 BI 4) e com uma filha no caso da unidade do térreo (Uh 101 BI 6).

As duas unidades possuem dois ventiladores, um no quarto do casal e outro portátil usado na sala ou no outro quarto.

As janelas passam a maior parte do tempo abertas na unidade da cobertura durante o dia tanto no verão quanto no inverno. Durante a noite ficam abertas no verão e fechadas no inverno.

Na unidade do térreo as janelas ficam abertas geralmente durante o dia quando há alguém em casa, durante a noite e quando a casa esta desocupada, as janelas ficam fechadas.

Nenhuma unidade habitacional possui equipamento que proporcione ganhos térmicos internos significativos.

4.1.3.5 Sistema Construtivo

O sistema construtivo utilizado nesse empreendimento foi alvenaria estrutural de blocos cerâmicos com reboco em ambos os lados. A construção foi feita por uma empresa construtora privada, através do Programa de Arrendamento Residencial - PAR e foi concluído e entregue no ano de 2005 quando se iniciou a ocupação pelos moradores.

A cobertura dos blocos é do tipo telha-ar-laje, com telhas cerâmicas escurecidas por acúmulo de sujeira e laje do tipo pré-moldada de concreto e blocos cerâmicos.

A pintura externa das paredes é feita com tinta acrílica em tom claro de bege. Os detalhes nas fachadas feitos com pinturas mais escuras se localizam na parte externa do vão central das escadas e do abrigo da caixa d'água.

As janelas não possuem proteção solar nem venezianas, as esquadrias são de alumínio em 2 folhas de correr com vidro transparente 3mm e abertura útil 50% da área total da janela.

As Figuras 21 e 22 mostram os detalhes construtivos das paredes e cobertura da edificação de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos.

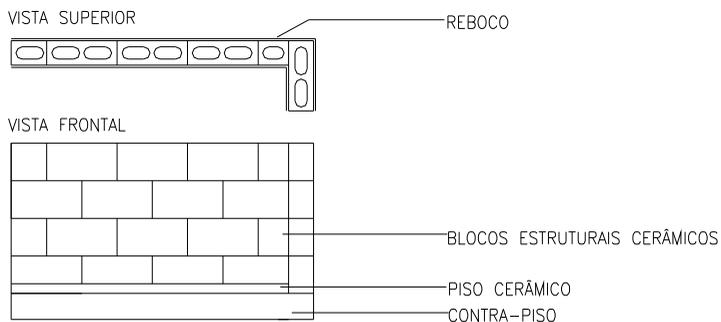


FIGURA 21: Detalhe construtivo da parede no condomínio Constantino Caetano.

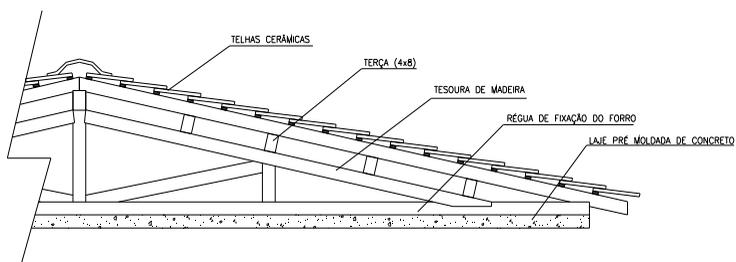


FIGURA 22: Detalhe construtivo da cobertura do condomínio Constantino Caetano.

4.2 RESIDÊNCIAS UNIFAMILIARES

4.2.1 Empreendimento 04, Casa de Madeira

4.2.1.1 Localização

As casas de madeira do programa PSH no município de São Bonifácio foram construídas em terrenos individuais em diversos locais do município.

A cidade de São Bonifácio, de acordo com a NBR 15.220 parte 3, está localizada na zona bioclimática 3.

A casa monitorada está inserida em uma região rural do município, distante 20 metros do pequeno rio que passa ao norte do terreno. Situada as margens da Rodovia SC-371 que se desenvolve entre os morros altos da região que compõem a topografia da região. A vegetação de porte grande é fortemente presente nos morros e são intercaladas por pastagens e gramados de vegetação rasteira.

A Figura 23 a seguir mostra uma imagem de satélite com a localização do empreendimento e as características do seu entorno.



FIGURA 23: Imagem de satélite com local de implantação da casa de madeira.
Fonte: Google Earth (2008).

4.2.1.2 Características Físicas

As residências unifamiliares de madeira construídas em São Bonifácio possuem 31 metros quadrados distribuídos em dois quartos, banheiro, sala e cozinha.

A cobertura, sem laje, tem estrutura em madeira com telhas cerâmicas vermelhas do tipo francesa com projeção frontal e lateral de 40 cm. O forro também é de madeira. As esquadrias são em madeira com abertura total em duas folhas de vidro transparente sem venezianas.

As telhas permanecem com cor avermelhada da cerâmica sem a presença de sujeira. As paredes também estão limpas e claras mantendo o tom original da pintura.

A residência monitorada possui uma alteração no projeto original que é um anexo a cozinha, pelo lado norte de um ambiente construído em madeira com cobertura de telhas de fibrocimento e janelas de ventilação onde existe um fogão a lenha.

A pintura é em tom claro de amarelo e a residência foi construída com afastamento do solo tendo o piso uma elevação que permite passagem do ar entre seu piso e o solo.

A Figura 24 é uma imagem da fachada da residência a partir da rodovia de acesso. Nos fundos é possível observar o anexo construído pelos moradores onde se situa o fogão a lenha.



FIGURA 24: Vista geral da residência construída em madeira.

4.2.1.3 Unidades Habitacionais Pesquisadas

Para as residências o processo de escolha foi da amostra pesquisada foi feita em campo durante as visitas técnicas utilizando os critérios de disponibilidade e condições técnicas e de segurança oferecidas pelo local.

A Figura 25 mostra a planta baixa da residência e os ambientes no seu interior.

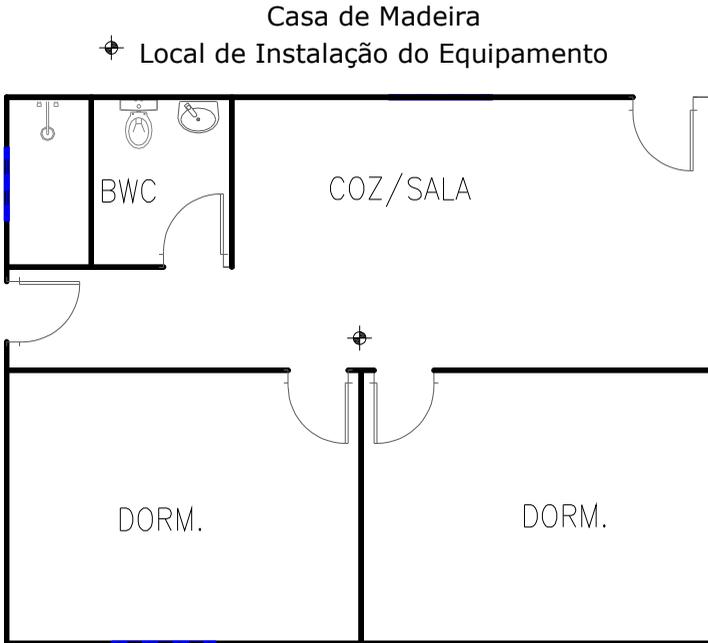


FIGURA 25: Planta baixa da residência em madeira de São Bonifácio com indicação do local de instalação do equipamento.

4.2.1.4 Padrões de Ocupação

A residência é ocupada por família de um casal com 4 filhos. Os filhos ficam em casa meio período e a mãe passa o dia realizando atividades domésticas.

Não possui ventilador nem aquecedor e as janelas, no verão, passam a maior parte do tempo abertas e no inverno apenas durante o dia.

Na parte anexa a residência existe um fogão a lenha que colabora com o ganho térmico da edificação. No inverno, passa grande parte do tempo em uso.

4.2.1.5 Sistema Construtivo

As residências construídas nesse empreendimento na cidade de São Bonifácio utilizaram como sistema construtivo estruturas de madeira e fechamento em tábuas verticais, as esquadrias e a estrutura da cobertura também são de madeira.

O banheiro é o único ambiente com paredes de alvenaria revestidas internamente de cerâmica, rebocadas por fora. A parede por onde passa a tubulação de água é utilizada também pela cozinha.

A edificação possui afastamento de 30 cm do solo o que permite circulação de ar sob o piso. Nesta residência havia obstruções causadas pelos objetos depositados pelos moradores que utilizam esse espaço para guardar também materiais e ferramentas.

O piso é feito com assoalho de madeira em tábuas de encaixe macho-fêmea apoiadas sobre barrotes que por sua vez apóiam-se sobre os pilares.

As paredes são de tábuas verticais de 2 x 20 cm encaixadas com mata-junta em uma das faces. A pintura externa das paredes é feita com tinta a óleo em tom claro de amarelo e as janelas não possuem proteção solar nem venezianas, as esquadrias são de madeira em 2 folhas de abrir com vidro transparente 3mm e abertura útil de 100% da área da janela.

As fundações são compostas de sapata de concreto armado com pilares em alvenaria de tijolos maciços sob a parte de madeira e pilares de concreto sob o banheiro. A cobertura possui inclinação de 40° e o forro feito em lambri com régua de 2,5 x 7,0 cm. O forro de madeira está abaixo da estrutura do telhado.

As Figuras 26 e 27 mostram os detalhes construtivos das paredes e da cobertura da casa de madeira.

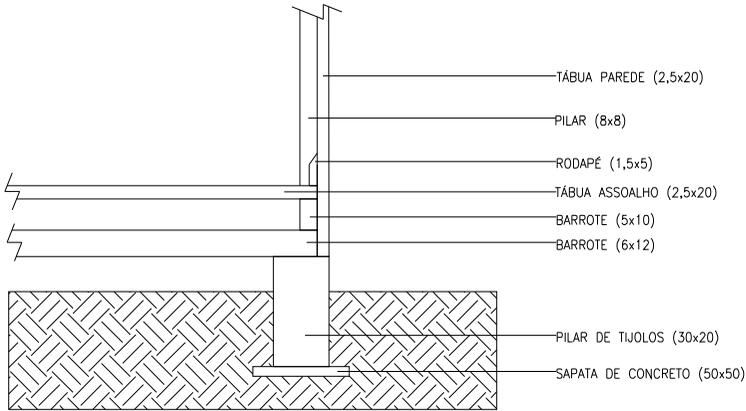


FIGURA 26: Detalhe construtivo da parede da casa de madeira.

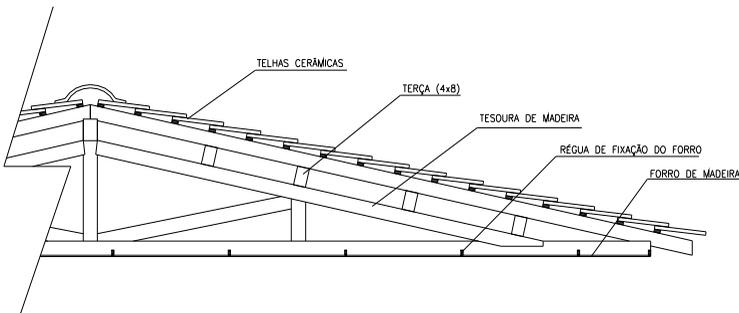


FIGURA 27: Detalhe construtivo da cobertura da casa de madeira.

4.2.2 Empreendimento 05, Casa de Placas Pré-Moldadas de Concreto

4.2.2.1 Localização

O sistema de placas pré-moldadas de concreto utilizado na construção das residências unifamiliares foi estudado no loteamento Tifa Schubert em Jaraguá do Sul, construído pela prefeitura no bairro Amizade e que fica afastado do centro da cidade.

A cidade de Jaraguá do sul, de acordo com a NBR 15.220 parte 3, está localizada na zona bioclimática nº3.

O loteamento possui de 145 lotes com aproximadamente 90% de taxa de ocupação. As residências são na sua maioria construídas com placas pré-moldadas de concreto.

O loteamento está localizado na base de um morro de altitudes elevadas e vegetação alta preservada e ocupa toda a parte Oeste do terreno.

O rio Itapocú passa a uma distância de aproximadamente 500 metros do loteamento. No vale desse rio é onde ocorre o desenvolvimento urbano mais intenso.

A Figura 28 a seguir mostra a imagem de satélite com a localização do loteamento da cidade de Jaraguá do Sul e seu entorno imediato.



FIGURA 28: Loteamento Tifa Schubert e seu contexto ambiental na cidade de Jaraguá do Sul. Fonte: Google Earth (2008).

4.2.2.2 Características Físicas

As residências unifamiliares de placas de concreto construída neste loteamento possuem área útil de 39 metros quadrados e mesmo layout interno, tipo de cobertura (telhas e forro), material e tipo de esquadrias e portas e cor das paredes.

A residência possui cobertura, sem laje, tem estrutura em madeira com telhas cerâmicas vermelhas do tipo capa canal com projeção frontal

e lateral de 60 cm. O forro é de PVC. As esquadrias são de alumínio com duas folhas de correr de vidro transparente 3mm sem venezianas.

As telhas permanecem com cor avermelhada da cerâmica sem a presença de sujeira. As paredes também estão limpas e claras mantendo o tom original da pintura.

A Figura 29 é uma imagem da fachada da residência monitorada no loteamento Tifa Schubert em Jaraguá do Sul.



FIGURA 29: Fachada da residência construída em placas pré-moldadas de concreto.

4.2.2.3 Unidades Habitacionais Pesquisadas

Para as residências o processo de escolha da amostra pesquisada foi feita em campo durante as visitas técnicas utilizando os critérios de disponibilidade e condições técnicas e de segurança oferecidas pelo local. A Figura 30 mostra a planta baixa com os ambientes no seu interior.

Casa de placas pré moldadas de concreto

⊕ Local de Instalação do Equipamento

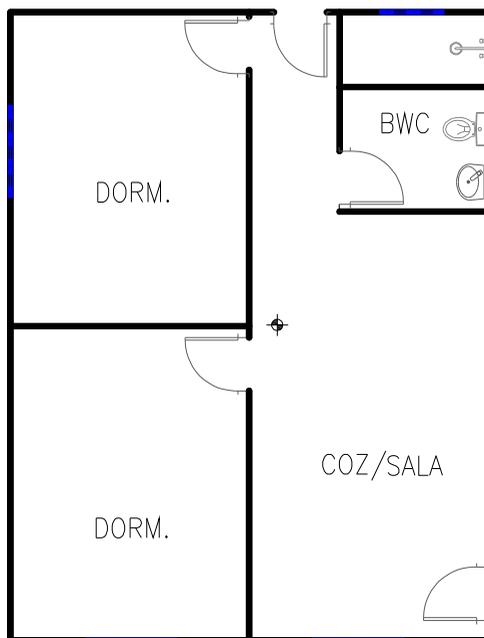


FIGURA 30: Planta baixa da residência em placas pré-moldadas de concreto de Jaraguá do Sul, com indicação do local de instalação do equipamento.

4.2.2.4 Padrões de ocupação:

A residência monitorada é ocupada por uma família de um casal com dois filhos. A esposa e a filha passam o dia em casa fazendo atividades domésticas.

Os ocupantes possuem um ventilador portátil que é utilizado em diversos ambientes da casa.

4.2.2.5 Sistema Construtivo

O sistema de placas pré moldadas de concreto utilizado nas residências utiliza vigotes de concreto pré-moldado na estrutura e

fechamento com placas de concreto pré-moldado sobrepostas verticalmente com travamento nos pilares de perfil I.

A espessura das placas é de 3cm , o forro de PVC fica logo sob a estrutura do telhado.

Não há reboco interno nem externo no acabamento das paredes de fechamento das residências. O lado externo moldado com aspecto de blocos foi pintado de tom claro de amarelo.

As esquadrias são de alumínio em duas folhas de correr e os vidros transparentes de 3 mm, sua abertura útil é de 50% da área total da janela.

As Figuras 31 e 32 a seguir mostram os detalhes construtivos das paredes e da cobertura da casa de placas pré moldadas de concreto.

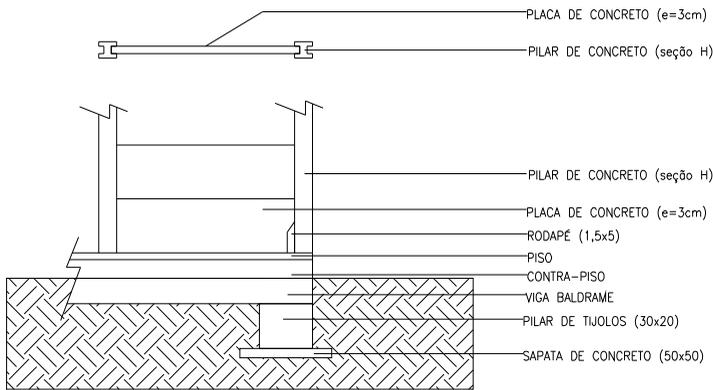


FIGURA 31: Detalhes construtivos das paredes da casa de placas pré moldadas de concreto

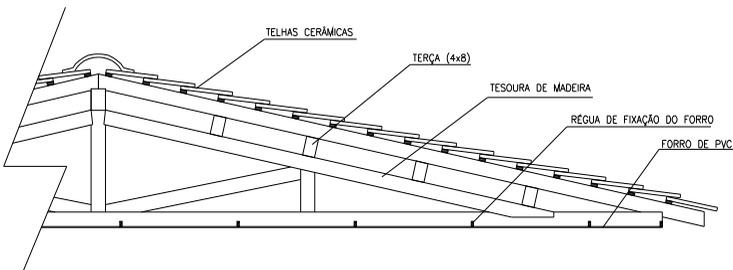


FIGURA 32: Detalhes construtivos da cobertura da casa de placas pré moldadas de concreto.

4.2.3 Empreendimento 06, Casa com fechamento de PVC

4.2.3.1 Localização

A casa de módulos de PVC está localizada na cidade de Jaraguá do Sul e foi construída, pela prefeitura municipal, no loteamento residencial unifamiliar Tifa Schubert onde também se localiza a residência monitorada de placas de concreto pré-moldado.

Sua localização, portanto é a mesma descrita para a residência de placas de concreto. Fica na cidade de Jaraguá do sul, de acordo com a NBR 15.220 parte 3, está localizada na zona bioclimática nº3.

4.2.3.2 Características Físicas

A residência unifamiliar de PVC construída em Jaraguá do Sul possui 36 metros quadrados distribuídos em dois quartos, banheiro, sala e cozinha.

A cobertura, sem laje, tem estrutura em madeira com telhas cerâmicas vermelhas do tipo capa canal com projeção frontal e lateral de 60 cm. O forro é de PVC. As esquadrias são de alumínio com abertura de correr lateral em duas folhas de vidro transparente sem venezianas e com abertura máxima de 50%.

As telhas permanecem com cor avermelhada da cerâmica sem a presença de sujeira. As paredes também estão limpas e claras mantendo o tom original da pintura.

A Figura 33 é uma imagem da fachada da residência de PVC monitorada em Jaraguá do Sul.



FIGURA 33: Fachada frontal e lateral da residência construída em PVC.

4.2.3.3 Unidades Habitacionais Pesquisadas

Este sistema construtivo foi utilizado apenas nessa residência o que a tornou a única possibilidade de pesquisa com esse sistema.

A residência teve equipamento instalado no ambiente central que é a sala/cozinha que não possuem divisões físicas entre si.

A planta baixa com os ambientes interiores está na Figura 34 a seguir.

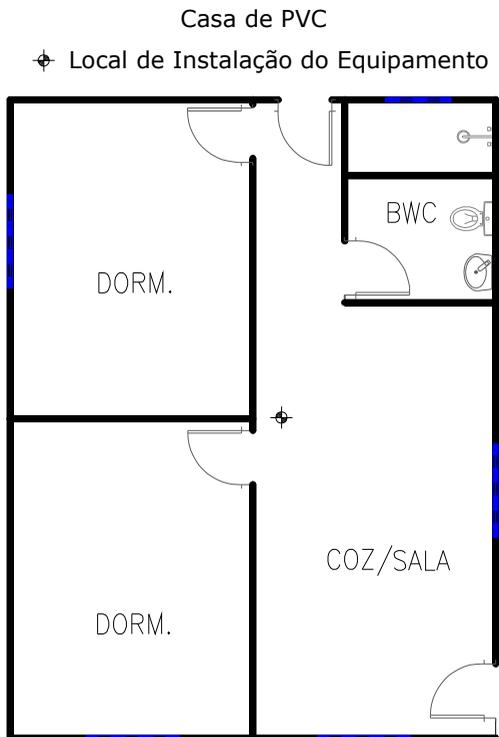


FIGURA 34: Planta baixa da residência de PVC em Jaraguá do Sul com indicação do local de instalação do equipamento.

4.2.3.4 Padrões de ocupação:

A residência é ocupada por um casal com dois filhos. Todos passam o dia fora retornando a noite.

As janelas, no verão, passam a maior parte do tempo abertas e no inverno apenas durante o dia. A residência possui dois ventiladores, um no quarto do casal e outro portátil usado na sala ou no quarto dos filhos.

As janelas possuem grades de proteção que permite que elas permaneçam abertas durante a noite.

4.2.3.5 Sistema Construtivo

Esse sistema de vedação vertical é constituído de painéis de de PVC com duplo encaixe macho/fêmea, coextrudados e ocós, em

módulos múltiplos de 25 cm e com espessura de 64 mm. São preenchidos com concreto e armados no local. O sistema possui também peças adaptadoras para o acabamento interno e externo, marcos e pré-marcos de janelas e portas.

As paredes têm função estrutural e possuem comprimentos variáveis de acordo com o projeto. Os painéis apresentam nervuras internas para reforço e pele externa de aproximadamente 2,0 mm a 2,5 mm de espessura. São utilizadas peças adaptadoras para ajustes de medidas de vãos.

O preenchimento dos painéis é feito com a utilização de concreto leve ou comum autoadensável. A armadura, em barras de aço, é introduzida no local antes da concretagem das paredes.

Os painéis de PVC, que servem de fôrmas, apresentam acabamento final e não necessitam de revestimentos. A cor do lado externo das paredes é bem próxima ao branco. As esquadrias são de alumínio com duas folhas de correr, vidros transparentes de 3 mm e abertura útil de 50% da área da janela.

A fundação é do tipo radier e o forro é também de PCV alveolar, com aproximadamente 3mm de espessura.

As Figuras 35 e 36 a seguir mostram os detalhes construtivos das paredes e da cobertura da casa de PVC.

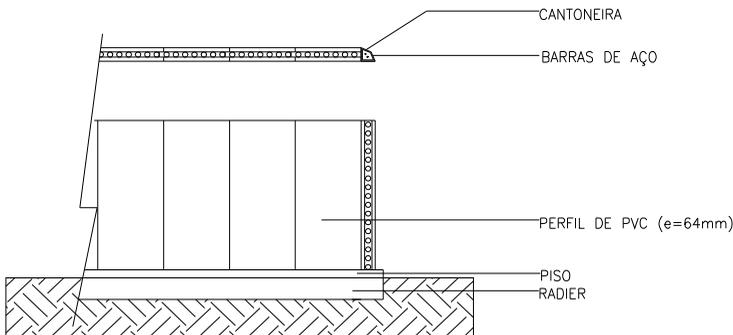


FIGURA 35: Detalhes construtivos das paredes da casa de PVC

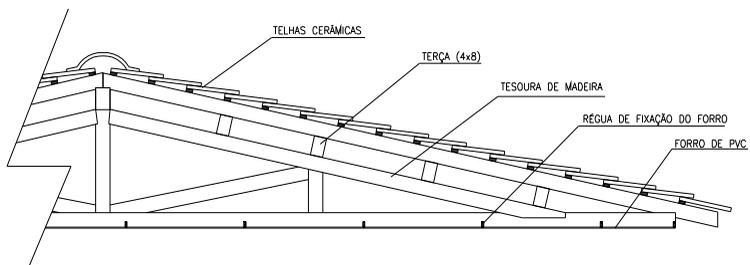


FIGURA 36: Detalhes construtivos da cobertura da casa de PVC.

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo estão apresentados os resultados obtidos com as medições realizadas nas edificações. Esses resultados foram processados conforme a metodologia de pesquisa adotada e permitiram analisar o desempenho térmico dos sistemas construtivos utilizados.

Inicialmente é apresentado um resumo dos resultados gerais com as informações básicas de identificação das edificações monitoradas e da organização do processamento dos dados e das análises realizadas.

Os resultados do procedimento de aferição dos equipamentos que foram aferidos para verificar a necessidade de correção dos resultados são mostrados em gráficos e comentados em seguida.

As análises foram feitas para cada empreendimento e os resultados são apresentados começando pelas aberturas de ventilação, propriedades térmicas, parâmetros do período semanal e do período total.

Os resultados das áreas de aberturas para os ambientes monitorados e das propriedades térmicas dos elementos dos sistemas construtivos serão comparados com os valores de referência das normas de desempenho NBR 15.575 e NBR 15.220.

A NBR 15.220 recomenda que a área de abertura útil se encontre entre 15% e 25% da área do piso do ambiente. A NBR 15.575 recomenda que essa abertura seja superior a 8% da área do piso do ambiente.

A abertura útil foi considerada como aquela correspondente a parte aberta das janelas por onde ocorre a passagem de ar quando a janela esta totalmente aberta.

Os sistemas construtivos foram divididos em seus dois principais elementos de formação para determinação das suas propriedades térmicas, esses elementos dos sistemas construtivos são as paredes externas e a cobertura. A transmitância térmica da cobertura foi calculada para condição de verão com o fluxo de calor descendente.

O somatório de graus hora e a relação entre o somatório interno e o externo (para os dois limites de temperatura) serão mostrados em gráficos para as edificações multifamiliares.

Nos gráficos com a relação entre somatórios internos e externos apresentado em porcentagem, as barras acima da linha de 0% apresentam aumento e abaixo da linha de 0% representam redução no somatório de graus-hora interno, comparado ao seu externo.

Dessa forma, as porcentagens ficam relativizadas ao contexto climático externo da edificação, que não é a mesma para todas as edificações devido à diferença de localização entre elas.

5.2 RESUMO DOS RESULTADOS GERAIS

A escolha das unidades habitacionais monitoradas foi feita em campo durante a execução das atividades, verificando quais estariam disponíveis e autorizadas pelos moradores. O resumo apresentado a seguir mostra as unidades habitacionais escolhidas em campo para os monitoramentos.

Apenas no condomínio Constantino Caetano foi possível escolher as unidades habitacionais previamente selecionadas de acordo com a orientação solar. Nos outros condomínios, a ausência dos moradores destas unidades no dia da visita obrigou a escolha de outras unidades conforme indicado na tabela 3.

No total foram utilizados vinte *dataloggers* HOBO, sendo quinze em ambientes internos e cinco em ambientes externos.

Nas edificações multifamiliares, foram doze equipamentos instalados em ambientes internos, dois em cada unidade habitacional. Outros três equipamentos nas áreas externas de cada condomínio.

As duas unidades habitacionais monitoradas em cada edificação multifamiliar estão localizadas uma no primeiro pavimento e outra no último e possuem orientações solares diferentes.

Os sistemas construtivos das edificações multifamiliares e unifamiliares monitorados estão localizados em cinco cidades diferentes do estado de Santa Catarina pertencentes a duas zonas bioclimáticas.

A tabela 3 a seguir apresenta o resumo dos dados gerais do monitoramento dos três sistemas construtivos utilizados nas edificações multifamiliares de interesse social de Santa Catarina.

TABELA 3: Resumo geral dos locais monitorados nas edificações multifamiliares.

EDIFICAÇÕES MULTIFAMILIARES						
SISTEMA CONSTRUTIVO	Alvenaria convencional		Alvenaria estrutural Bloco de concreto		Alvenaria estrutural Bloco cerâmico	
NOME	Buona Vita		Vila Paraíso		Constantino Caetano	
CIDADE	Florianópolis		Chapecó		Joinville	
ZONA BIOCLIMÁTICA.	3		3		5	
UNIDADE HABITACIONAL.	B119 Ap102	B124 Ap201	B1A Ap103	B1D Ap401	B16 Ap101	B14 Ap404
PAVIMENTO	Térreo	Último	Térreo	Último	Térreo	Último
ORIENTAÇÃO	NO	NE	NO	SE	SE	NO
Nº HOBOS	5 (4 int. + 1 ext.)		5 (4 int. + 1 ext.)		5 (4 int. + 1 ext.)	
PERÍODO	13/09/2008 a 03/06/2009		13/09/2008 a 03/06/2009		13/09/2008 a 03/06/2009	

O monitoramento das edificações unifamiliares foi realizado em três residências térreas, uma de madeira, uma de PVC e uma de placas de concreto, cada uma com seu monitoramento externo.

Foram utilizados três *dataloggers* em ambientes internos e dois em ambientes externos, as residências de placas de concreto e PVC utilizaram o mesmo monitoramento externo, pois estão localizadas na mesma cidade.

A tabela 4 a seguir apresenta o resumo dos dados gerais do monitoramento dos três sistemas construtivos utilizados nas edificações unifamiliares de interesse social de Santa Catarina.

TABELA 4: Resumo geral dos locais monitorados nas edificações unifamiliares.

EDIFICAÇÕES UNIFAMILIARES					
SISTEMA CONSTRUTIVO	Madeira		Placas de concreto	PVC	
CIDADE	São Bonifácio		Jaraguá do Sul	Jaraguá do Sul	
ZONA BIOCLIMÁTICA.	3		5	5	
UNIDADE HABITACIONAL.	1 residência		1 residência	1 residência	
AMBIENTES	Interno	Externo	1 Interno	Interno	Externo
Nº HOBOS	2		1	2	
PERÍODO	09/11/08 a 03/06/09		09/11/08 a 03/06/09	13/09/08 a 03/06/09	

A Figura 37 a seguir ilustra a organização desse capítulo e as etapas de processamento de dados e avaliação dos resultados.

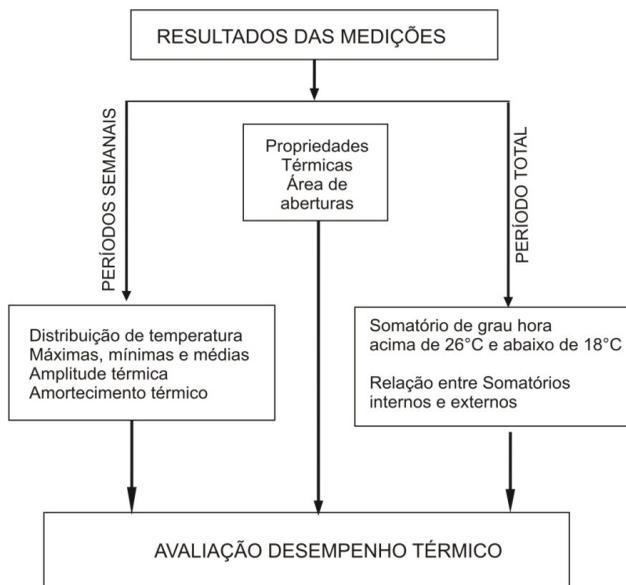


FIGURA 37: Organização do processamento dos dados e do desenvolvimento das análises realizadas.

5.2.1 AFERIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

A dispersão de valores medidos foi verificada para os loggers utilizados. Eles foram colocados dentro de uma caixa isolada termicamente e programados para registrarem as temperaturas por 24 horas consecutivas.

Esse procedimento foi feito em dias diferentes para os equipamentos instalados nas edificações unifamiliares e multifamiliares. A distribuição da temperatura registrada nos 20 loggers foi semelhante mas não idêntica, e a variação registrada de $0,4^{\circ}\text{C}$ está dentro da faixa de resolução do equipamento, não havendo necessidade de calibração ou correção dos valores registrados pelos equipamentos.

A Figura 38 mostra os registros dos equipamentos instalados nas edificações unifamiliares e a Figura 39 mostra os resultados dos equipamentos utilizados nas medições das edificações multifamiliares.

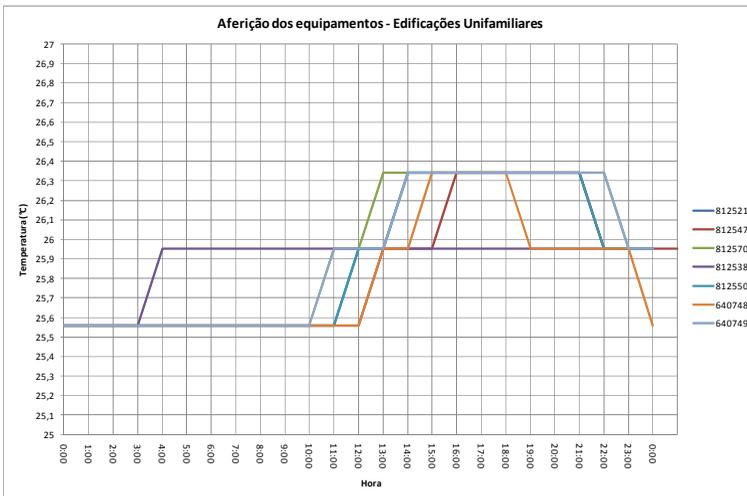


FIGURA 38: Dispersão de valores medidos nos loggers das edificações unifamiliares.

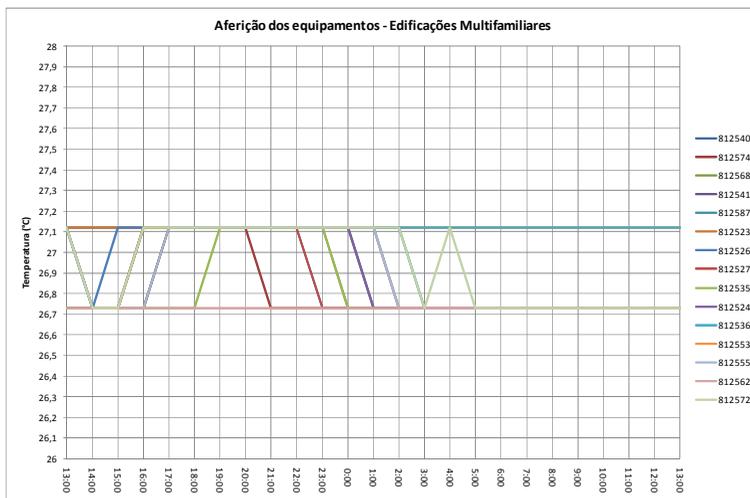


FIGURA 39: Dispersão de valores medidos nos loggers das edificações multifamiliares.

5.3 EDIFICAÇÕES MULTIFAMILIARES

5.3.1 ALVENARIA CONVENCIONAL, BUONA VITA.

5.3.1.1 Áreas das Aberturas

A Tabela 5 a seguir mostra os valores encontrados para os cálculos das aberturas dos ambientes monitorados no condomínio Buona Vita.

TABELA 5: Cálculo das aberturas de ventilação, segundo as normas e o projeto, dos ambientes monitorados do condomínio Buona Vita.

Local	Área (m ²)	Área da Janela (m ²)	Abertura útil (m ²)*	% Área piso	NBR 15.220 15% < A < 25%	NBR 15.575 A > 8%
Dorm	7,0	1,2	0,6	8,6	Não	Ok
Sala	9,0	1,44	0,72	8,0	Não	Ok

*Nesse caso a abertura útil é 50% da área total da janela. (A abertura útil corresponde ao máximo espaço de ventilação obtido quando ela está totalmente aberta).

As aberturas de ventilação do dormitório e da sala nas unidades habitacionais monitoradas não são aceitas de acordo com os critérios da NBR 15.220, porém foram aceitas de acordo com os critérios da NBR 15.575 que são menos restritivos e exigem aberturas superiores a 8% da área do piso e as aberturas dos dois ambientes possuem 8,6% e 8,0% respectivamente.

5.3.1.2 Propriedades Térmicas

Para o cálculo das propriedades térmicas do condomínio Buona Vita foram considerados os materiais utilizados e as seções transversais dos elementos construtivos. As seções transversais consideradas no cálculo das paredes foram Seção A, Seção B e Seção C conforme descritas a seguir:

Seção A: (reboco, argamassa, reboco)

Seção B: (reboco, tijolo, reboco)

Seção C: (reboco, tijolo, ar, tijolo, ar, tijolo, reboco)

Para a cobertura foi adotado 0,09 (m².K)/W para o valor de resistência térmica da laje, de acordo com a norma NBR 15.220 parte 3, na composição da resistência térmica de superfície a superfície.

Para calcular o fator solar, a absorvância adotada foi 0,75 para telhas cerâmicas conforme a NBR 15.220 parte 2. Para as paredes, a absorvância utilizada foi de 0,4 para pinturas em verde claro e azul claro.

A parte 3 da norma NBR 15.220 recomenda para cada zona bioclimática, valores máximos admissíveis de transmitância térmica, atraso térmico e fator solar. Já a NBR 15.575 na parte 4 recomenda para vedações verticais (paredes) valores máximos admissíveis de transmitância térmica e capacidade térmica e na parte 5 são recomendados os valores máximos para transmitância térmica das coberturas.

As propriedades térmicas dos elementos e componentes utilizados nesse edifício de alvenaria convencional estão indicadas na Tabela 6.

TABELA 6: Propriedades térmicas dos elementos e componentes da edificação de alvenaria convencional.

BUONA VITA						
PROPRIEDADES TÉRMICAS	PAREDES (Tijolo cerâmico furado e rebocado 2 faces)			COBERTURA (inclinada, telhas cerâmicas e laje pré-moldada de concreto)		
	Valores Calculados	NBR 15.220	NBR 15.575	Valores Calculados	NBR 15.220	NBR 15.575
Resistência Térmica Rt ((m ² .K)/W)	0,4288	-	-	0,61	-	-
Capacidade Térmica Ct (kJ/(m ² .K))	157,19	-	-	109,72	-	-
Transmitância Térmica Ut (W/(m ² .K))	2,33	≤3,6	≤3,7	1,64	≤2,0	≤1,5**
Atraso Térmico Φ (horas)	3,66	≤4,3	-	2,12	≤3,3	-
Fator Solar (%)	2,8	≤4,0	-	5,2	≤6,5	-
Absortância α	0,4	-	-	0,75	-	-
Aceitabilidade *	-	Sim	Sim	-	Sim	Não

*Para serem aceitas as todas as condições devem ser cumpridas simultaneamente.

**A NBR 15.575 recomenda $U \leq 1,5$ para $\alpha > 0,6$.

As propriedades térmicas calculadas para as paredes foram aceitas pelas duas normas, porém a transmitância térmica da cobertura não foi aceita segundo os critérios da NBR 15.575 que exige um valor de transmitância térmica menor que 1,5 W/(m².K) para coberturas cuja superfície externa tenha absortância superior a 0,6.

5.3.1.3 Semana do período quente e do período frio.

Com os dados obtidos na semana do período frio (13/9 a 19/9 de 2008) foi plotado no gráfico da Figura 40 a distribuição de temperatura horária nesse período.

Com esses dados, foram obtidas as temperaturas máximas, mínimas e médias conforme apresentadas na Tabela 7 que mostra também os valores de amplitude térmica e amortecimento térmico calculados durante a semana escolhida.

TABELA 7: Temperaturas máximas, médias, mínimas, amplitude térmica e amortecimento térmico para a semana fria no condomínio Buona Vita.

Alvenaria Convencional - 13 a 19/set/2008					
Índices	externo	UN. 1 TER.		UN. 2 COB.	
		sala	quarto	sala	quarto
Temp. máx (°C)	23,82	23,44	20,57	21,71	-
Temp. mín. (°C)	11,19	17,14	15,62	17,14	-
Temp. média (°C)	16,17	19,64	18,54	19,18	-
Amplitude média diária (°C)	9,50	3,79	2,67	3,08	-
Amortecimento (%)	-	60%	72%	68%	-

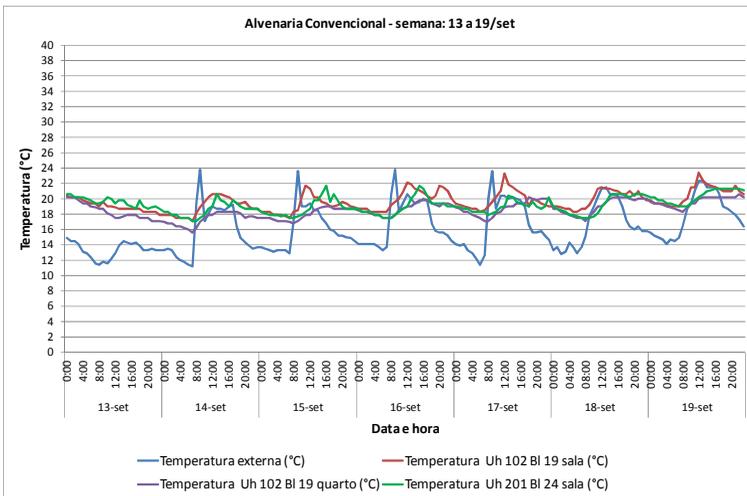


FIGURA 40: Distribuição de temperatura do ar na semana do período frio no condomínio Buona Vita.

Os registros do quarto da Uh 201 BI 24, (unidade da cobertura) não foram registrados pelo aparelho nesse primeiro período devido a problemas no funcionamento do equipamento.

Observa-se no gráfico da Figura 40 que o ambiente interno com as menores temperaturas foi o quarto da Uh 102 BI 19 (unidade do térreo), onde quase todas as mínimas diárias ficaram abaixo de 18°C.

De acordo com a tabela 7, durante essa semana de temperaturas frias, a mínima externa foi 11,19°C enquanto a máxima externa chegou a 23,82°C, gerando assim uma amplitude térmica média diária de 9,50°C.

As temperaturas mínimas e médias internas tiveram valores similares para a sala da unidade do térreo, (17,14°C e 19,64°C respectivamente), e para a sala da unidade da cobertura, (17,4°C e 19,18°C).

A diferença entre o valor dos amortecimentos térmicos das duas unidades habitacionais nessa semana foi pequena, os ambientes monitorados apresentaram 60% de amortecimento da amplitude térmica externa na sala da unidade do térreo, 72% no quarto da unidade do térreo e 68% na sala da unidade da cobertura.

Os blocos desse empreendimento possuem dois andares, o que pode ter diminuído a diferença da inércia térmica e do isolamento térmico entre as unidades habitacionais do térreo e da cobertura, o que causou o desempenho térmico semelhante nas unidades habitacionais nessa semana.

Merece destaque a diferença observada na tabela 7 entre os valores da sala e do quarto da unidade do térreo. A sala apresentou valores maiores para as temperaturas máxima, média, mínima e pra amplitude térmica média diária. Essa diferença pode ter sido causada pelo posicionamento dos equipamentos, na sala o logger estava instalado mais próximo à parede da fachada oeste que o logger instalado no quarto. Esse posicionamento pode ter deixado o equipamento da sala mais exposto às maiores temperaturas próximas a essa parede.

A Figura 41 mostra o gráfico com a distribuição da temperatura do ar durante a semana quente de 27/jan a 02/fev.

Na Tabela 8 observam-se as temperaturas máximas e mínimas e médias, amplitudes, amortecimentos térmicos registrados nas medições durante a semana do período quente.

TABELA 8: Temperaturas máximas, médias, mínimas, amplitude térmica e amortecimento térmico para a semana quente no condomínio Buona Vita.

Alvenaria Convencional - 27/jan/2009 a 02/fev/2009					
Índices	externo	Uh 102 Bl 19		Uh 201 Bl 24	
		sala	quarto	sala	quarto
Temp. máx (°C)	34,65	31,93	31,12	30,31	31,32
Temp. mín. (°C)	21,71	25,95	26,34	25,37	25,76
Temp. média (°C)	25,84	28,40	28,54	27,30	27,91
Amplitude média diária (°C)	7,71	3,04	2,76	2,22	2,29
Amortecimento (%)	x	61%	64%	71%	70%

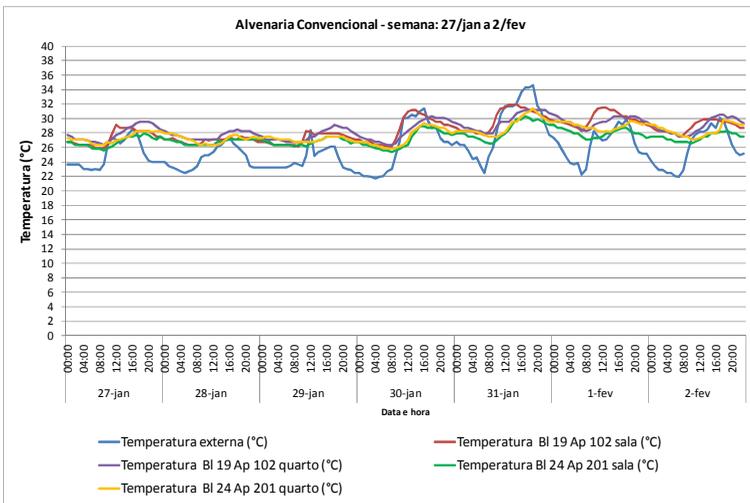


FIGURA 41: Distribuição de temperatura do ar na semana quente no condomínio Buona Vita.

Essa semana de temperaturas elevadas apresentou temperaturas máximas externas bem irregulares que chegaram ao valor máximo de 34,65°C no dia 31/1. A distribuição das temperaturas mínimas externas foi mais regular, com o registro mais baixo igual a 21,71°C na madrugada de 30/1, conforme se observa na Tabela 8.

A temperatura interna máxima foi registrada na sala da Uh 102 Bl 19 (unidade do térreo), assim como aconteceu na semana fria. O quarto dessa mesma unidade também teve as maiores temperaturas internas na maioria dos outros dias, mostrando a influência da orientação solar noroeste no ganho de calor da unidade habitacional.

Nessa semana, a sala e o quarto da Uh 201 Bl 24 (unidade da cobertura) foram os ambientes que apresentaram menor amplitude térmica interna e conseqüentemente melhor eficiência de amortecimento térmico, chegando a 71% na sala.

Os registros das temperaturas máximas e mínimas da semana não apresentaram valores significativamente diferentes para os quatro ambientes monitorados. A amplitude térmica e o amortecimento foram os parâmetros que indicaram um melhor desempenho da unidade da cobertura durante essa semana.

A orientação nordeste da unidade da cobertura pode ter favorecido seu melhor desempenho térmico na semana quente em relação à unidade do térreo, pois a unidade do térreo possui orientação noroeste e assim, maior exposição ao sol do período da tarde que incide sobre a edificação já aquecida pela ação do sol da manhã.

A ocorrência dos ventos norte e nordeste, predominantes no verão e que auxiliam no resfriamento noturno não acontece de maneira satisfatória na unidade do térreo, orientada a noroeste. Além disso, por questão de segurança as janelas passam grande parte do tempo fechadas, inclusive a noite, dificultando ainda mais o efeito de resfriamento da ventilação noturna.

É possível observar no gráfico a diferença de 3°C ou mais entre as temperaturas mínimas externas e internas na unidade do térreo para o período noturno, mostrando a dificuldade da perda de calor por essa unidade.

5.3.1.4 Somatório de Graus Hora

Utilizando os dados registrados por todo o período monitorado foi calculado o somatório de graus hora acima de 26°C e abaixo de 18°C. A Figura 42 mostra o gráfico com esses valores para as unidades habitacionais monitoradas no condomínio Buona Vita.

Pode ser observada, no gráfico da Figura 43, a relação entre o somatório de graus hora interno e o somatório de graus hora externo para temperaturas acima de 26°C e abaixo de 18°C.

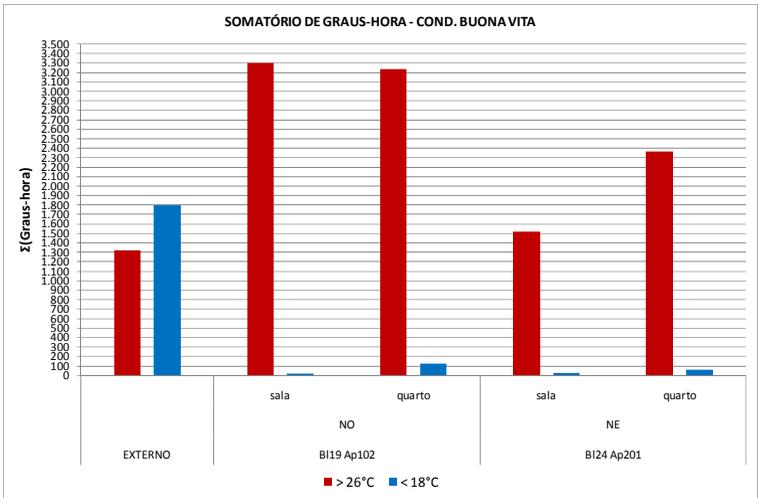


FIGURA 42: Somatório de graus hora acima de 26°C e abaixo de 18°C para as unidades habitacionais do condomínio Buona Vita.

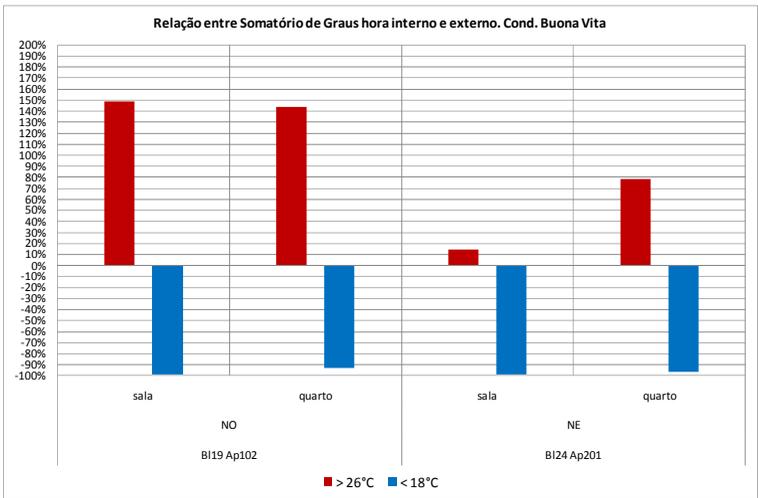


FIGURA 43: Relação entre o somatório de graus hora interno e externo acima de 26°C e abaixo de 18°C para as unidades habitacionais do condomínio Buona Vita.

No gráfico da Figura 42, observa-se que os ambientes da unidade do térreo chegaram a valores superiores a 3.200 graus hora acima de 26°C para o período total de monitoramento. Esse valor superou o valor do somatório de graus hora acima de 26°C externo entre 140% e 150%, conforme o gráfico da Figura 43.

A unidade da cobertura também teve o valor do somatório de graus hora acima de 26°C maior que o valor externo, porém esse aumento não foi tão expressivo quanto na unidade do térreo ficando em 15% e 78%.

A orientação solar noroeste do apartamento térreo o faz receber a radiação solar da parte final da manhã e de toda a tarde quando a temperatura da edificação alcança seu valor máximo devido ao acúmulo de calor gerado pela radiação solar recebida desde o período da manhã.

O menor valor para o somatório de graus hora acima de 26°C na unidade da cobertura pode ser explicado pela sua orientação nordeste que a faz receber apenas a radiação solar da manhã. Colaborando com esse fato, os ventos predominantes no verão em Florianópolis são o norte e o nordeste que incidem diretamente nessas fachadas do bloco, ajudando o resfriamento das unidades que tem aberturas nessas fachadas, como é o caso da unidade da cobertura, que ainda pode permanecer mais tempo com as janelas abertas, inclusive a noite, por ter mais segurança.

Ambas as unidades apresentaram valores baixos para o somatório de graus hora abaixo de 18°C, não passando de 100 horas em nenhum ambiente monitorado enquanto o somatório externo chegou a 1.800 graus hora abaixo de 18°C.

A redução do somatório de graus hora abaixo de 18°C interno em relação ao externo foi de mais de 90% em todos os ambientes monitorados. A capacidade térmica das paredes de alvenaria convencional calculada em 157,19 kJ/(m².K) ajudou no desempenho térmico da edificação durante a semana fria, armazenando o calor ganho durante o dia e mantendo as temperaturas internas mais constantes. Esse foi o maior valor de capacidade térmica entre as paredes estudadas.

•

5.3.2 ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCOS DE CONCRETO, VILA PARAÍSO.

5.3.2.1 Áreas das Aberturas

A Tabela 09 mostra os valores das aberturas de ventilação nos ambientes monitorados da unidade habitacional e a verificação perante os valores de referência das normas.

TABELA 9: Cálculo das aberturas de ventilação, segundo as normas e o projeto, para os ambientes monitorados do condomínio Vila Paraíso.

Local	Área (m ²)	Área da Janela (m ²)	Área útil (m ²)*	% Área piso	NBR 15.220 15%<A<25%	NBR 15.575 A>8%
Dorm	8,3	1,2	0,6	7,2	Não	Não
Sala	14,0	1,44	0,72	5,1	Não	Não

*Nesse caso a abertura útil é 50% da área total da janela. (A abertura útil corresponde ao máximo espaço de ventilação obtido quando ela está totalmente aberta).

Nenhuma das aberturas de ventilação dos ambientes monitorados atendeu aos critérios mínimos recomendados pelas normas de desempenho NBR 15.220 e NBR 15.575.

5.3.2.2 Propriedades Térmicas

As seções transversais consideradas no cálculo das propriedades térmicas das paredes no condomínio Vila Paraíso foram Seção A, Seção B e Seção C conforme descritas a seguir:

Seção A: (reboco, argamassa, reboco)

Seção B: (reboco, bloco de concreto, reboco)

Seção C: (reboco, bloco, ar, bloco, reboco)

As propriedades térmicas dos elementos e componentes utilizados na edificação de alvenaria estrutural de concreto estão indicadas na Tabela 10.

TABELA 10: Propriedades térmicas dos elementos e componentes da edificação de blocos de concreto calculadas e recomendadas pelas normas NBR 15.220 e NBR 15.575.

VILA PARAÍSO						
PROPRIEDADES TÉRMICAS	PAREDES (Bloco de concreto estrutural rebocado 2 faces)			COBERTURA (inclinada, telhas fibrocimento 6mm e laje pré-moldada)		
	Valores Calculados	NBR 15.220	NBR 15.575	Valores Calculados	NBR 15.220	NBR 15.575
Resistência Térmica R_t ((m ² .K)/W)	0,3402	-	-	0,5190	-	-
Capacidade Térmica C_t (kJ/(m ² .K))	155,01	-	-	103,57	-	-
Transmitância Térmica U_t (W/(m ² .K))	2,94	≤3,6	≤3,7	1,93	≤2,0	≤1,5**
Atraso Térmico Φ (horas)	3,4	≤4,3	-	2,5	≤3,3	-
Fator Solar (%)	4,7	≤4,0	-	6,1	≤6,5	-
Absortância α	0,4	-	-	0,8	-	-
Aceitabilidade*	-	Não	Sim	-	Sim	Não

*Para serem aceitas as todas as condições devem ser cumpridas simultaneamente.

**A NBR 15.575 recomenda $U \leq 1,5$ para $\alpha > 0,6$

O valor de resistência térmica da laje adotado para a composição da resistência térmica de superfície a superfície da cobertura foi de 0,09 (m².K)/W, retirado da norma NBR 15.220, parte 3.

Para o Fator Solar, a absortância adotada foi 0,8 para telhas de fibrocimento escurecidas por acumulo de sujeira, conforme a NBR 15.220, parte 2. Para as paredes a absortância utilizada foi de 0,4 para pinturas em azul claro, verde claro e amarelo claro.

As paredes tiveram o fator solar acima do máximo recomendado da norma NBR 15.220 e a transmitância térmica da cobertura ultrapassou o valor máximo de 1,5 W/(m².K) permitido pela NBR

15.575 para coberturas com superfícies externas que tenham absorvância acima de 0,6.

A cobertura poderia ter sua transmitância térmica aprovada pela NBR 15.575 se utilizasse alguma cor clara na superfície exposta e a mantivesse limpa. Dessa forma reduzir-se-ia a absorvância e de acordo com a norma a transmitância térmica limite passaria a ser 2,3 W/(m².K) que aceitaria o valor de 1,92 W/(m².K) encontrado para a transmitância da cobertura utilizada.

5.3.2.3 Semana do período quente e do período frio.

Com os dados obtidos na semana do período frio (13/9 a 19/9 de 2008) foi plotado o gráfico de distribuição de temperatura apresentado na Figura 44.

A Tabela 11 mostra os valores das temperaturas máximas, mínimas e médias e também as amplitudes e amortecimentos térmicos calculados durante a semana fria no condomínio Vila Paraíso.

TABELA 11: Temperaturas máximas, médias, mínimas, amplitude térmica e amortecimento térmico para a semana fria no condomínio Vila Paraíso.

Blocos estruturais de concreto 13 a 19/set/2008					
Índices	externo	Uh 103 Bl A		Uh 401 Bl D	
		sala	quarto	sala	quarto
Temp. máx (°C)	21,33	17,90	19,04	18,66	20,19
Temp. mín. (°C)	7,83	13,32	14,47	11,58	12,16
Temp. média (°C)	13,73	15,99	16,39	15,03	16,09
Amplitude média diária (°C)	6,75	2,40	2,12	3,72	5,02
Amortecimento (%)	x	64%	69%	45%	26%

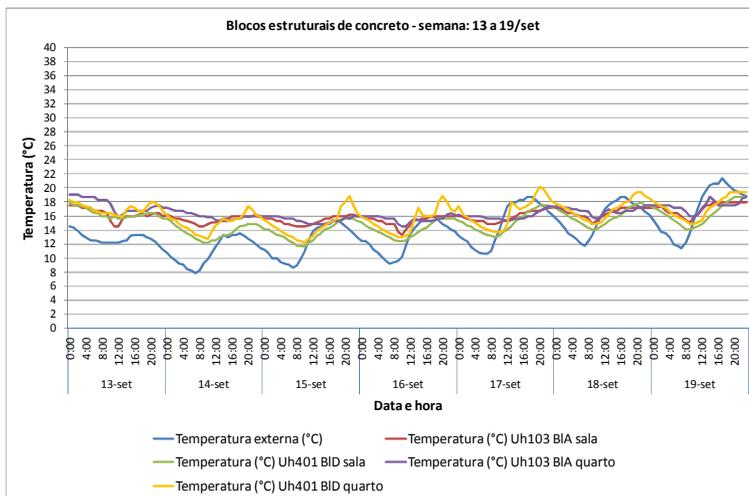


FIGURA 44: Distribuição de temperatura do ar na semana fria no condomínio Vila Paraíso.

Essa semana de temperaturas baixas apresentou mínima de $7,8^{\circ}\text{C}$ no registro externo e mínima de $11,6^{\circ}\text{C}$ no registro interno ocorrido na sala da unidade da cobertura.

As temperaturas internas máximas e mínimas foram registradas na unidade da cobertura indicando as maiores amplitudes térmicas e a menor capacidade de amortecimento térmico apresentado por essa unidade habitacional.

Os ambientes da unidade do térreo permaneceram com temperaturas internas mais constantes, como se pode observar pelos valores das amplitudes térmicas constantes na Tabela 11. O maior isolamento térmico proporcionado pelas lajes superiores e pelo piso colabora na manutenção dessas temperaturas constantes e na menor influência das mudanças externas de temperatura. As janelas nas unidades do térreo permanecem mais tempo fechadas pela falta de segurança do andar térreo e auxiliam no isolamento da unidade diminuindo a perda de calor para o meio externo.

Nessa semana fria a unidade do térreo apresentou melhor desempenho térmico que a unidade da cobertura, os valores de amortecimento foram superiores, diminuindo assim a amplitude térmica interna. As temperaturas mínimas dessa unidade foram maiores que as temperaturas mínimas da cobertura, conforme se observa pelos valores demonstrados na Tabela 11.

A Figura 45 mostra o gráfico da distribuição das temperaturas durante a semana de 27/1 a 2/2 de 2009, correspondente à semana quente.

A Tabela 12 contém os valores das temperaturas máximas, médias e mínimas encontradas durante essa semana. A tabela mostra também os valores calculados para a amplitude térmica e o amortecimento térmico.

TABELA 12: Temperaturas máximas, médias, mínimas, amplitude térmica e amortecimento térmico para a semana quente no condomínio Vila Paraíso.

Blocos estruturais de concreto 27/jan/2009 a 02/fev/2009					
Índices	externo	Uh 103 BI A		Uh 401 BI D	
		sala	quarto	sala	quarto
Temp. máx (°C)	29,50	26,34	26,73	28,70	27,52
Temp. mín. (°C)	19,42	22,86	23,63	23,63	23,24
Temp. média (°C)	23,93	24,48	25,49	25,93	25,19
Amplitude média diária (°C)	6,13	1,82	1,47	2,93	2,11
Amortecimento médio (%)	x	70%	76%	52%	66%

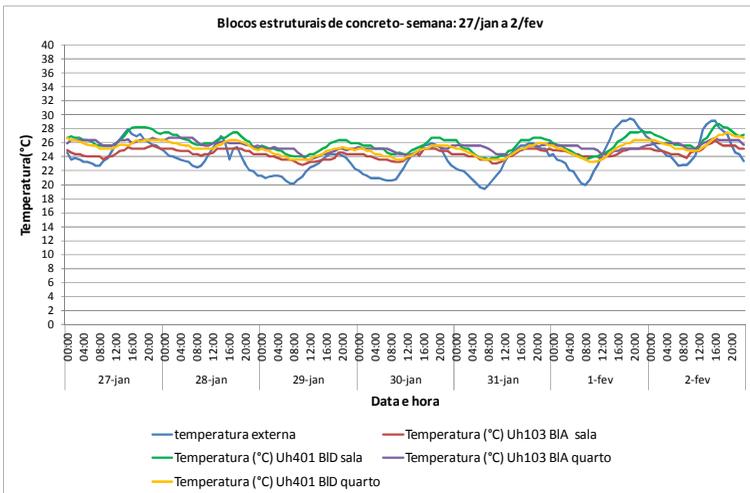


FIGURA 45: Distribuição de temperatura do ar na semana quente no condomínio Vila Paraíso.

De acordo com o gráfico da Figura 45, algumas temperaturas internas ficaram acima das máximas externas por bastante tempo. Os

ambientes da Uh 401 BI D (unidade da cobertura) foram os que apresentaram as maiores temperaturas máximas internas, ($28,7^{\circ}\text{C}$ e $27,52^{\circ}\text{C}$).

Na Tabela 12, observa-se que as duas unidades tiveram amplitudes térmicas internas abaixo de 3°C . A Uh 103 BI A (unidade do térreo) apresentou as menores amplitudes ($1,82^{\circ}\text{C}$ e $1,47^{\circ}\text{C}$) com conseqüente maior valor de amortecimento (70% e 76%), porém as temperaturas médias internas nas duas unidades foram superiores as médias externas durante essa semana.

A unidade do térreo, apesar de possuir orientação noroeste, que sofre maior influência do calor gerado pela radiação solar, apresentou desempenho térmico melhor que a unidade da cobertura também durante essa semana quente.

O posicionamento no pavimento térreo favoreceu o desempenho térmico desta unidade, que mesmo com orientação solar noroeste, teve os valores das temperaturas máximas, mínimas e médias menores que a unidade da cobertura conforme apresentados na Tabela 12.

5.3.2.4 Somatório de Graus Hora

Utilizando os dados registrados por todo o período monitorado foi calculado o somatório de graus hora acima de 26°C e abaixo de 18°C e a Figura 46 mostra os valores encontrados para as unidades habitacionais monitoradas no condomínio Vila Paraíso.

A Figura 47 mostra, em porcentagem, a relação entre os somatórios de graus hora internos e o externo para temperaturas acima de 26°C e abaixo de 18°C .

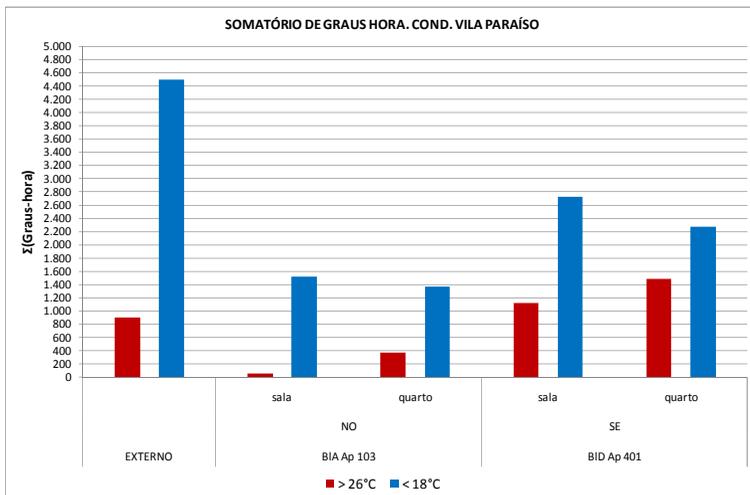


FIGURA 46: Somatório de graus hora acima de 26°C e abaixo de 18°C para as unidades habitacionais do condomínio Vila Paraíso.

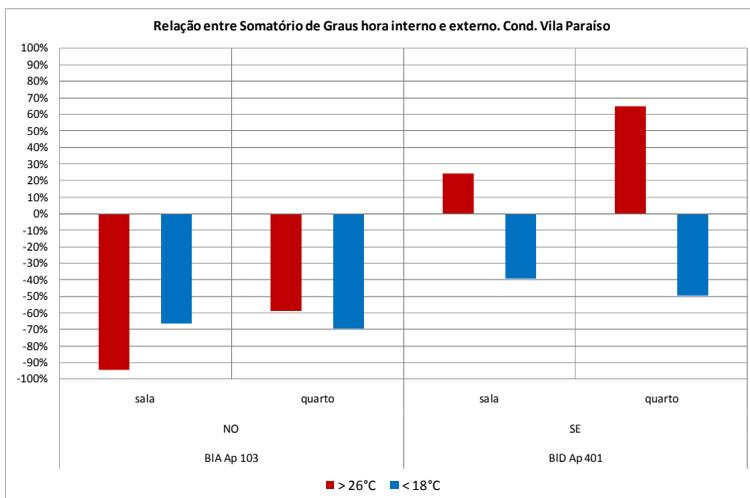


FIGURA 47: Relação entre o somatório de graus hora interno e externo acima de 26°C e abaixo de 18°C para as unidades habitacionais do condomínio Vila Paraíso.

O destaque para esse empreendimento foi o registro de 4.500 graus hora abaixo de 18°C na área externa, muito superior aos 950 graus

hora acima de 26°C registrado para a mesma área externa. Como consequência, em todos os ambientes internos o somatório de graus hora abaixo de 18°C foi superior ao somatório de graus hora acima de 26°C.

A unidade da cobertura apresentou os maiores valores do somatório de graus hora para os ambientes internos, tanto acima de 26°C quanto abaixo de 18°C. O somatório de graus hora acima de 26°C na unidade da cobertura foi superior ao somatório externo nos dois ambientes, (23% na sala e 65% no quarto). Ainda na unidade da cobertura, a redução do somatório de graus hora nos ambientes internos em relação ao externo ocorreu apenas para temperaturas abaixo de 18°C, ficando em 40% na sala e 50% no quarto.

A unidade do térreo conseguiu reduzir o somatório interno acima de 26°C nos dois ambientes, essa redução chegou a mais de 90% na sala e próximo de 60% no quarto.

A maior influência da perda de calor pela cobertura é sofrida pela unidade da cobertura e mostra a necessidade de aumentar o isolamento da cobertura e aumentar a capacidade térmica dos elementos construtivos utilizados em regiões de clima mais frio. Chapecó apesar de estar na mesma zona bioclimática que Florianópolis apresentou, durante o período monitorado, temperaturas mais baixas.

5.3.3 ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCOS CERÂMICOS, CONSTANTINO CAETANO.

5.3.3.1 Áreas das Aberturas

A Tabela 13 mostra os valores relacionados às aberturas de ventilação nos ambientes monitorados da unidade habitacional e a sua aceitabilidade perante as normas NBR 15.220 e NBR 15.575.

TABELA 13: Cálculo das aberturas de ventilação, segundo as normas e o projeto, dos ambientes monitorados do condomínio Constantino Caetano.

Local	Área (m ²)	Área da Janela (m ²)	Área útil (m ²)*	% Área piso	(NBR 15.220) 15% < A < 25%	NBR 15.575 A > 8%
Dorm.	8,0	1,2	0,6	7,5	Não	Não
Sala	9,5	1,4	0,7	7,5	Não	Não

*Nesse caso a abertura útil é 50% da área total da janela. (A abertura útil corresponde ao máximo espaço de ventilação obtido quando ela está totalmente aberta).

Nenhuma das aberturas de ventilação dos ambientes monitorados atendeu aos critérios mínimos recomendados pelas normas de desempenho NBR 15.220 e NBR 15.575.



5.3.3.2 Propriedades Térmicas

As seções transversais consideradas no cálculo das propriedades térmicas das paredes no condomínio Constantino Caetano foram Seção A, Seção B e Seção C conforme descritas a seguir:

Seção A: (reboco, argamassa, reboco)

Seção B: (reboco, cerâmica, reboco)

Seção C: (reboco, cerâmica, ar, cerâmica, reboco)

O valor de resistência térmica da laje adotado para a composição da resistência térmica de superfície a superfície da cobertura ($0,09 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$) foi retirado da norma NBR 15.220.

Para o fator solar, a absorvância adotada foi 0,8 para telhas cerâmicas escuras por acúmulo de sujeira, conforme a NBR 15.220, parte 2. Para as paredes, a absorvância utilizada foi de 0,3 para pinturas em amarelo claro.

As propriedades térmicas dos elementos e componentes utilizados nesse sistema construtivo, foram calculadas de acordo com a norma NBR 15.220 e estão indicadas na Tabela 14.

TABELA 14: Propriedades térmicas dos elementos e componentes da edificação de blocos cerâmicos calculadas e recomendadas pelas normas NBR 15.220 e NBR 15.575.

CONSTANTINO CAETANO						
PROPRIEDADES TÉRMICAS	PAREDES (Bloco cerâmico estrutural rebocado 2 faces)			COBERTURA (inclinada, telhas cerâmicas e laje pré- moldada)		
	Valores Calculados	NBR 15.220	NBR 15.575	Valores Calculados	NBR 15.220	NBR 15.575
Resistência Térmica R_t ($m^2.K/W$)	0,3708	-	-	0,6100	-	-
Capacidade Térmica C_t ($kJ/(m^2.K)$)	109,41	-	-	109,72	-	-
Transmitância Térmica U_t ($W/(m^2.K)$)	2,69	$\leq 3,60$	$\leq 3,7$	1,64	$\leq 2,00$	$\leq 1,5^{**}$
Atraso Térmico Φ (horas)	2,8	$\leq 4,3$	-	2,12	$\leq 3,3$	-
Fator Solar (%)	3,2	$\leq 4,0$	-	5,5	$\leq 6,5$	-
Absortância α	0,3	-	-	0,8	-	-
Aceitabilidade*	-	Sim	Sim	-	Sim	Não

*Para serem aceitas as todas as condições devem ser cumpridas simultaneamente.

*A NBR 15.575 recomenda $U \leq 1,5$ para $\alpha > 0,6$

As propriedades térmicas das paredes de alvenaria estrutural cerâmica foram aceitas pelas duas normas de desempenho. Com a transmitância térmica um pouco mais baixa que a das paredes de blocos de concreto e a utilização da cor amarelo claro que tem absortância 0,3, as paredes desse sistema tiveram o valor do fator solar conforme o exigido na NBR 15.220.

A transmitância térmica da cobertura também não foi aceita pelo critério da NBR 15.575. Da mesma forma que o sistema que utilizou telhas de fibrocimento, a utilização de uma cor clara na superfície externa desta cobertura com telhas cerâmicas e a manutenção da limpeza

da superfície diminuiriam a absorvância e elevariam o valor limite da transmitância pra 2,3 (W/(m².K)), o que faria esta cobertura estar dentro dos padrões exigidos pelas duas normas de desempenho.

5.3.3.3 Semana do período quente e do período frio.

Com os dados obtidos na semana do período frio (29/5 a 4/6 de 2009) o gráfico de distribuição de temperatura foi plotado e é apresentado na Figura 48.

A Tabela 15 mostra os valores das temperaturas máximas, mínimas e médias e também as amplitudes e amortecimentos térmicos registrados e calculados durante a semana fria no condomínio Constantino Caetano.

TABELA 15: Temperaturas máximas, médias, mínimas, amplitude térmica e amortecimento térmico para a semana fria no condomínio Constantino Caetano.

Blocos estruturais cerâmicos - 29 de mai/2009 a 04/jun/2009					
Índices	externo	Uh 404 Bl 4		Uh 101 Bl 6	
		sala	quarto	sala	quarto
Temp. máx (°C)	20,19	21,91	20,19	22,09	20,19
Temp. mín. (°C)	7,83	14,47	13,13	16,38	12,74
Temp. média (°C)	15,53	18,38	17,79	19,51	17,43
Amplitude média diária (C°)	6,23	2,23	2,31	1,17	1,64
Amortecimento (%)	x	64%	63%	81%	74%

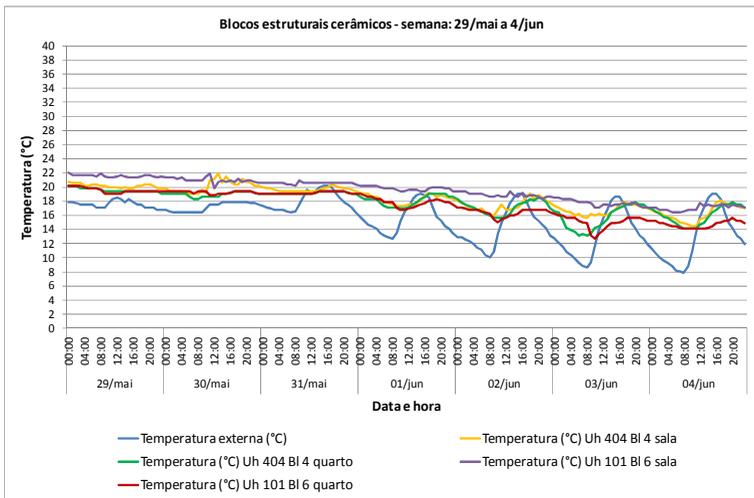


FIGURA 48: Distribuição de temperatura do ar na semana fria no condomínio Constantino Caetano.

Observa-se no gráfico dessa semana o registro da entrada de uma frente fria que derrubou as temperaturas mínimas externas para próximas de 8 °C.

Os valores registrados para os ambientes internos das unidades do térreo e da cobertura (Uh 101 Bl 6 e Uh 404 Bl 4 respectivamente) não foram muito diferentes entre si, porém observa-se no gráfico uma maior amplitude térmica nos ambientes da unidade da cobertura.

O quarto da unidade do térreo apresentou o menor valor para a temperatura mínima, 12,74°C, porém esse ambiente teve menor amplitude térmica que os ambientes da unidade da cobertura.

A unidade do térreo obteve o melhor desempenho térmico durante essa semana. O amortecimento térmico da onda de frio chegou a 81% na sala. Esse ambiente manteve as temperaturas mais elevadas durante essa semana.

A Figura 49 mostra o gráfico da distribuição das temperaturas durante a semana do período quente de 27/1 a 2/2 de 2009.

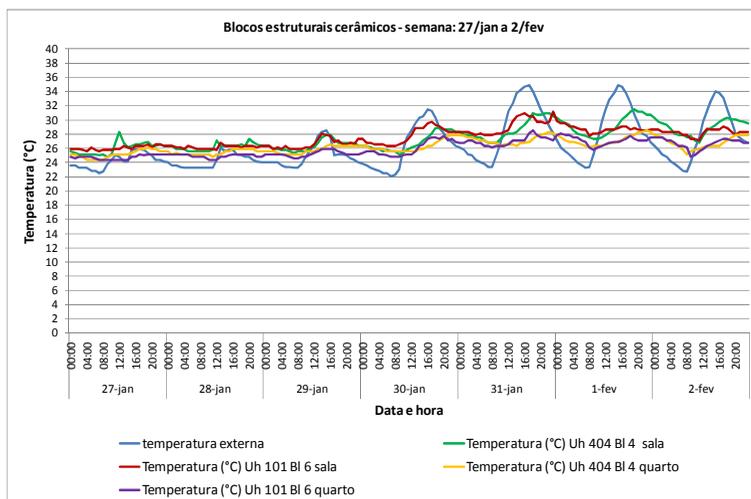


FIGURA 49: Distribuição de temperatura de bulbo seco na semana quente.

A Tabela 16 mostra as temperaturas máximas, médias e mínimas para a semana do período quente e também os valores calculados para a amplitude térmica e o amortecimento térmico.

TABELA 16 Temperaturas máximas, médias, mínimas, amplitude térmica e amortecimento térmico para a semana quente no condomínio Constantino Caetano.

Blocos estruturais cerâmicos 27 de jan/2009 a 02/fev/2009					
Índices	externo	Uh 404 Bl 4		Uh 101 Bl 6	
		sala	quarto	sala	quarto
Temp. máx (°C)	34,85	31,52	28,51	31,12	28,51
Temp. mín. (°C)	22,09	24,79	24,40	25,56	24,40
Temp. média (°C)	26,34	27,45	26,26	27,54	25,96
Amplitude média diária (C°)	7,92	3,36	1,96	2,12	1,90
Amortecimento médio (%)	x	58%	75%	73%	76%

Pode-se ver pelo gráfico que essa semana foi marcada pela elevação das temperaturas externas que chegaram próximas a 35°C, mantendo as mínimas sem grandes variações próximas de 23°C.

As temperaturas internas máximas foram similares nos ambientes das duas unidades, porém a sala na unidade da cobertura teve o maior valor registrado (31,52°C). Essa sala da unidade da cobertura obteve o pior desempenho térmico nessa semana considerando seu valor de amplitude térmica e amortecimento térmico.

Os outros ambientes apresentaram resultados bem próximos entre si, os quartos das duas unidades habitacionais apresentaram temperaturas internas máximas e mínimas iguais como pode ser observado na tabela 16.

As menores amplitudes térmicas foram registradas nos quartos das unidades do térreo (1,90°C), e da cobertura (1,96°C).

Mesmo estando orientada para noroeste e posicionada no pavimento da cobertura, a unidade da cobertura não apresentou desempenho térmico muito diferente da unidade do térreo durante a semana quente.

5.3.3.4 Somatório de Graus Hora

Utilizando os dados registrados por todo o período monitorado, foram calculados os somatórios de graus hora acima de 26°C e abaixo de 18°C. A Figura 50 mostra os valores encontrados para as unidades habitacionais monitoradas no condomínio Constantino Caetano.

A Figura 51 tem o gráfico com a relação entre o somatório de graus hora interno e externo acima de 26°C e abaixo de 18°C.

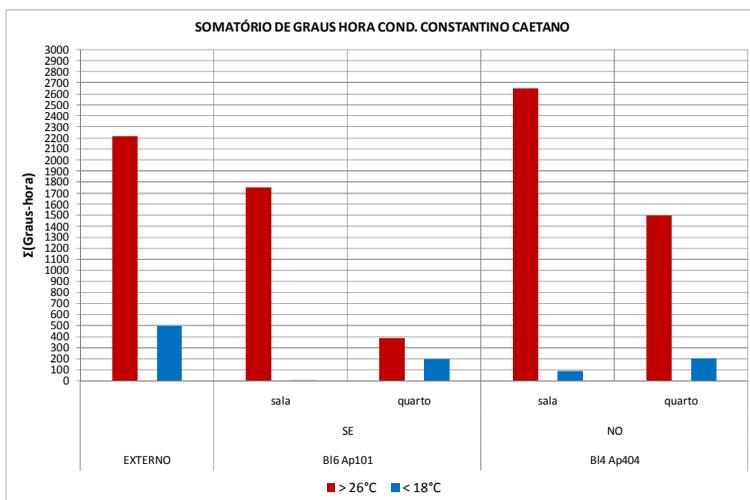


FIGURA 50: Somatório de graus hora acima de 26°C e abaixo de 18°C para as unidades habitacionais do condomínio Constantino Caetano.

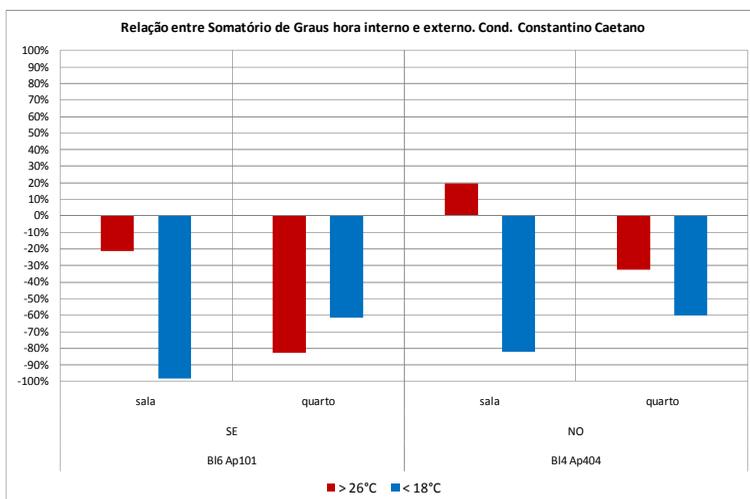


FIGURA 51: Relação entre o somatório de graus hora interno e externo acima de 26°C e abaixo de 18°C para as unidades habitacionais do condomínio Constantino Caetano.

O somatório de graus hora externo acima de 26°C ficou em 2.200 graus hora. Nos ambientes internos, apenas na sala da unidade da cobertura o valor de somatório foi superior ao externo, ficando em 2.650 graus hora. O menor valor do somatório de graus hora acima de 26°C foi registrados no quarto da unidade do térreo (395 graus hora.).

A cidade de Joinville se localiza na zona bioclimática 5 e o somatório de graus hora externo apresentou um valor reduzido para temperaturas abaixo de 18°C ficando abaixo de 500 graus hora.

A unidade da cobertura apresentou valores um pouco maiores para o somatório de graus hora abaixo de 18°C do que a unidade do térreo.

Todos os ambientes reduziram o valor do somatório de graus hora externo, exceto a sala da unidade da cobertura que registrou aumento de quase 20% do valor do somatório externo acima de 26°C. A combinação da posição no último pavimento com a orientação solar noroeste a tornam a unidade que recebe maior influência da radiação solar, causando a maior amplitude térmica que eleva as temperaturas máximas internas e piora o desempenho da unidade no período quente.

O sistema de blocos cerâmicos apresentou o maior número de ambientes com redução do somatório de graus hora externo, para temperaturas acima de 26°C, em relação aos outros sistemas construtivos das edificações multifamiliares.

5.4 EDIFICAÇÕES UNIFAMILIARES

5.4.1 CASA DE MADEIRA, SÃO BONIFÁCIO

5.4.1.1 Áreas das Aberturas

A Tabela 17 a seguir mostra os valores relacionados às aberturas do apartamento e a sua aceitabilidade perante as normas NBR 15.220 e NBR 15.575.

TABELA 17: Cálculo das aberturas de ventilação, segundo as normas e o projeto, do ambiente monitorado na residência de madeira.

Local	Área (m ²)	Área da Janela (m ²)	Área útil (m ²)*	% Área piso	NBR 15.220 15% <A<25%	NBR 15.575 A>8%
Sala.	12,5	2,4	2,4	19,2	Sim	Sim

*Nesse caso a abertura útil é 100% da área total da janela e existem duas janelas no ambiente. (A abertura útil corresponde ao máximo espaço de ventilação obtido quando ela está totalmente aberta).

A residência de madeira foi a única que teve suas aberturas aprovadas pelas duas normas de desempenho. Esse fato se deve à sua maior área útil conseguida pelo sistema de abertura em duas folhas que permite abertura total da janela e uso de 100% do seu espaço para ventilação.

5.4.1.2 Propriedades Térmicas

O cálculo das propriedades térmicas da parede foi feito considerando-se as tábuas de madeira com 2 cm de espessura como elemento construtivo. Para as propriedades térmicas da cobertura, o cálculo considerou telhas cerâmicas e forro de madeira.

O fator solar das paredes foi calculado adotando-se $\alpha=0,3$ para a superfície externa das tábuas de madeira pintadas com tinta amarelo claro. Para a cobertura absorvância adotada para a superfície das telhas cerâmicas foi 0,75.

As propriedades térmicas dos elementos e componentes utilizados nesse sistema construtivo estão indicadas na Tabela 18.

TABELA 18: Propriedades térmicas dos elementos e componentes da edificação calculadas e recomendadas pelas normas NBR 15.220 e NBR 15.575 para a casa de madeira.

CASA DE MADEIRA, SÃO BONIFÁCIO						
PROPRIEDA DES TÉRMICAS	PAREDES (tábuas de madeira e=2cm)			COBERTURA (inclinada, telhas cerâmicas e forro de madeira)		
	Valores Calcula dos	NBR 15.220	NBR 15.575	Valores Calcula dos	NBR 15.220	NBR 15.575
Resistência Térmica Rt ((m ² .K)/W)	0,2569	-	-	0,3945	-	-
Capacidade Térmica Ct (kJ/(m ² .K))	3,45	-	-	31,17	-	-
Transmitância Térmica Ut(W/(m ² .K))	3,89	≤3,60	≤ 3,7	2,53	≤2,00	≤1,5**
Atraso Térmico Φ (horas)	0,4	≤4,3	-	0,5	≤3,3	-
Fator Solar (%)	4,7	≤4,0	-	7,6	≤6,5	-
Absortância α	0,3	-	-	0,75	x	-
Aceitabilidade *	-	Não	Não	-	Não	Não

*Para serem aceitas as todas as condições devem ser cumpridas simultaneamente.

**A NBR 15.575 recomenda U≤1,5 para α>0,6

A resistência térmica das paredes de madeira apresentou valor muito baixo com conseqüente alta transmitância térmica causada pela pequena espessura das tábuas utilizadas nesse sistema construtivo. A pouca espessura compromete também a capacidade térmica calculada em 3,45 kJ/(m².K). A baixa capacidade térmica prejudica o desempenho térmico no inverno, pois não mantém o calor interno ganho pela edificação ao longo do dia.

As propriedades térmicas calculadas para as paredes não tiveram aprovação por nenhum critério das normas de desempenho NBR 15.220 e NBR 15.575.

A cobertura também não teve suas propriedades térmicas aceitas pelos critérios das normas. A transmitância térmica da cobertura foi 2,3 W/(m².K) e ficou acima do valor limite 1,5 W/(m².K) recomendado na NBR 15.575 e 2,0 W/(m².K) recomendado na NBR 15.220.

A capacidade térmica da cobertura é de 31,17 kJ/(m².K), valor considerado baixo e que prejudica o armazenamento de calor, no verão pode ajudar no resfriamento noturno, mas no inverno prejudica a manutenção do calor interno.

Outro detalhe construtivo que prejudica a manutenção do calor interno no inverno é o piso afastado do solo que permite passagem de ar sob o piso de madeira diminuindo ainda mais a capacidade térmica da edificação.

5.4.1.3 Semana do período quente e do período frio.

A Figura 52 mostra o gráfico da distribuição das temperaturas durante a semana fria de 28/5 a 4/6 de 2009. A Tabela 19 mostra as temperaturas máximas, médias, mínimas, amplitude térmica e amortecimento para a residência de madeira.

TABELA 19: Temperaturas máximas, médias, mínimas, amplitude térmica e amortecimento térmico para a semana fria na residência de madeira.

Casa de madeira - São Bonifácio 28/mai a 04/jun/2009		
Índices	externo	interno
Temp. máx (°C)	19,81	22,09
Temp. mín. (°C)	-1,06	2,46
Temp. média (°C)	10,66	13,33
Amplitude média diária (C°)	10,41	9,14
Amortecimento (0<A<1)	x	12%

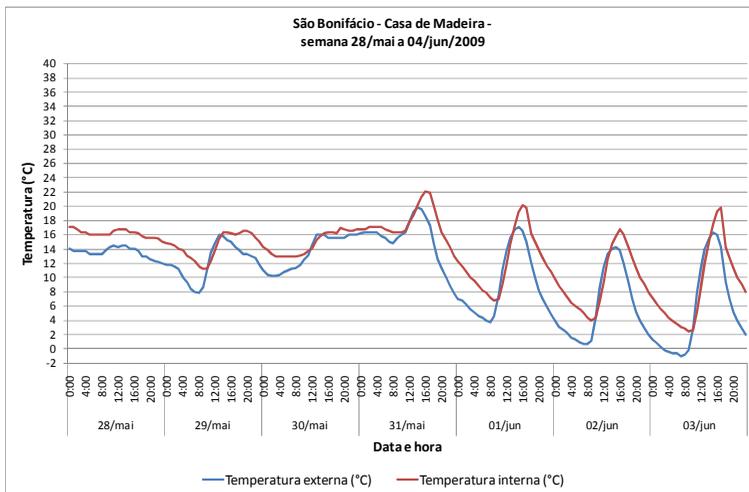


FIGURA 52: Distribuição de temperatura do ar na semana fria na residência de madeira.

O gráfico da Figura 52 mostra que, durante essa semana, houve a entrada de uma frente fria intensa derrubando as temperaturas externas para próximo a 0°C , em uma madrugada a temperatura externa registrada foi $-1,06^{\circ}\text{C}$ mostrada na Tabela 19.

A temperatura mínima interna chegou a $2,5^{\circ}\text{C}$ e pode-se observar no gráfico que, durante essa semana, a temperatura interna acompanhou a temperatura externa com pequeno atraso no resfriamento e subiram praticamente juntas no aquecimento.

As temperaturas internas ficaram aproximadamente de 2 a 3°C acima das temperaturas externas máximas e mínimas. A temperatura média interna também foi superior em aproximadamente 3°C à temperatura média externa.

O amortecimento térmico desse sistema foi muito baixo, calculado em 12%, permitindo assim uma amplitude térmica interna superior a 9°C .

A baixa capacidade térmica das paredes da residência de madeira permite que a variação da temperatura interna seja alta e acompanhe quase simultaneamente a variação externa, elevando a amplitude interna e prejudicando o seu desempenho térmico nessa semana de frio.

A Figura 53 mostra o gráfico da distribuição das temperaturas durante a semana de 28/2 a 6/3 de 2009.

A Tabela 20 mostra as temperaturas máximas, médias, mínimas, a amplitude térmica e o amortecimento térmico para a semana quente na residência de madeira.

TABELA 20: Temperaturas máximas, médias, mínimas, amplitude térmica e amortecimento térmico para a semana quente na residência de madeira.

Casa de madeira - São Bonifácio 28/fev a 06/mar/2009		
Índices	externo	interno
Temp. máx (°C)	36,35	31,52
Temp. mín. (°C)	17,14	20,57
Temp. média (°C)	24,63	25,53
Amplitude média diária (C°)	11,77	6,79
Amortecimento (%)	-	42%

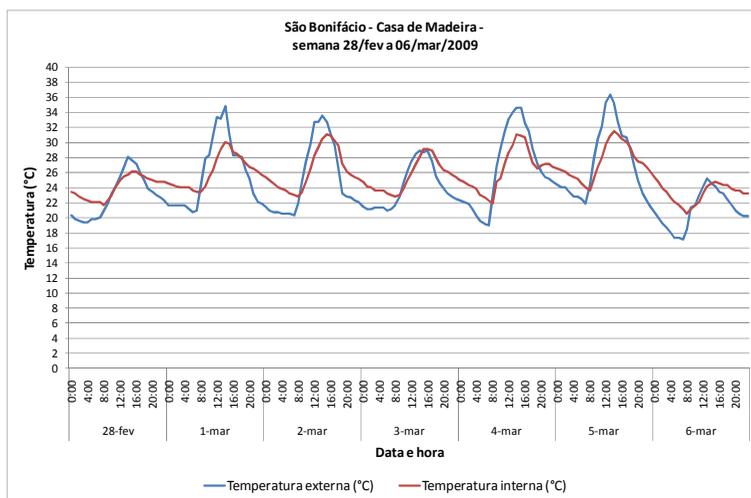


FIGURA 53: Distribuição de temperatura do ar na semana quente na residência de madeira.

Observam-se no gráfico, temperaturas elevadas com a máxima externa chegando acima de 36°C. A amplitude térmica externa também foi elevada durante essa semana, que teve a mínima próxima dos 17°C. Todas as máximas diárias internas ficaram acima de 26°C, menos no último dia dessa semana quando as máximas, interna e externa, ficaram próximas a 25°C.

A amplitude térmica interna não foi tão alta quanto na semana fria, ficando em 6,79°C. A amplitude térmica média diária externa nessa

semana quente foi de 11,8°C, valor maior que na semana fria que teve 10,4°C de amplitude térmica.

A cobertura dessa residência, mesmo não tendo suas propriedades térmicas aprovadas pelas normas de desempenho, possui o valor da transmitância térmica mais próximo do valor recomendado pelas normas do que o valor da transmitância da parede, o que melhorou o desempenho térmico da residência no verão, pois a maior carga térmica proveniente da radiação solar é recebida pela cobertura.

5.4.1.4 Somatório de Graus Hora

Utilizando os dados registrados por todo o período monitorado foi calculado o somatório de graus hora acima de 26°C e abaixo de 18°C.

A Tabela 21 mostra os valores dos somatórios de graus hora encontrados para o interior e para o exterior da residência de madeira. Mostra também a relação entre os somatórios internos e externos para as duas temperaturas.

Tabela 21: Somatórios de graus hora internos e externos acima de 26°C e abaixo de 18°C e a relação entre eles para a residência de madeira.

SISTEMA	CIDADE	Ambiente	Somatório de Graus Hora		Redução - Aumento	
			> 26°C	< 18°C	> 26°C	< 18°C
MADEIRA	SÃO BONIFÁCIO	EXTERNO	1.971,3	5.343,0	-	-
		INTERNO	1.051,8	2.219,1	-47%	-58%

O valor do somatório de graus-hora abaixo de 18°C foi elevado para a área externa. A região de São Bonifácio apresentou temperaturas que em geral foram baixas durante o período total de monitoramento. No local foram registrados mais de 5.000 graus-hora abaixo de 18°C para a temperatura do ar externo.

No interior da residência o valor do somatório abaixo de 18°C ficou um pouco acima dos 2.200 graus hora indicando uma redução de 58% em relação ao valor externo.

Para temperaturas acima de 26°C o somatório externo ficou em 1.971 graus hora com o interior da residência apresentando 1.052 graus hora reduzindo assim 47% do total externo durante todo o período monitorado. Mesmo com uma redução próxima de 50%, o somatório de

graus hora acima de 26°C interno ainda ficou acima de 1.000 graus hora em um período total de monitoramento de sete meses.

O desempenho térmico da residência de madeira não foi satisfatório em períodos de frio nem em período de calor. A baixa capacidade térmica das paredes e a alta transmitância térmica em conjunto com características físicas como grandes aberturas de ventilação e piso elevado do solo prejudicam sobremaneira o isolamento térmico da edificação e fez as temperaturas internas oscilarem bem próximas das temperaturas externas.

5.4.2 CASA DE PLACAS DE CONCRETO, JARAGUÁ DO SUL

5.4.2.1 Áreas das Aberturas

A Tabela 22 mostra os valores encontrados para as aberturas da residência de placas de concreto e sua verificação segundo as normas de desempenho.

TABELA 22: Cálculo das aberturas e verificação da aceitabilidade segundo as normas NBR 15.220 e NBR 15.575 para a residência de placas de concreto.

Local	Área (m ²)	Área da Janela (m ²)	Área útil (m ²)*	% Área piso	NBR 15.220 15% < A < 25%	(NBR 15.575) A > 8%
Sala.	13,0	(0,8)x2	0,8	6,15	Não	Não

*Nesse caso a abertura útil é 50% da área total da janela e existem duas janelas no ambiente. (A abertura útil corresponde ao máximo espaço de ventilação obtido quando ela está totalmente aberta).

Nenhuma das normas de desempenho recomenda aberturas mínimas de ventilação que aprovem as aberturas encontradas na residência de placas de concreto.

O espaço útil para instalação das janelas nesse tipo de sistema construtivo é limitado ao vão entre os pilares de concreto pré-moldado que intercalam e dão suporte as placas pré-moldadas. Esse espaçamento é de 0,88 m e o vão livre para as janelas é de 0,8 m. As janelas utilizadas são de correr e só possuem abertura máxima de 50% da sua área total.

5.4.2.2 Propriedades Térmicas

O cálculo das propriedades térmicas da parede foi feito considerando-se as placas pré-moldadas de concreto com 3 cm de espessura como elemento construtivo. Para as propriedades térmicas da cobertura, o cálculo considerou telhas cerâmicas e forro de PVC.

O fator solar das paredes foi calculado adotando-se $\alpha=0,3$ para a superfície externa pintada com tinta amarelo claro. Para a cobertura absorvância adotada para a superfície das telhas cerâmicas foi 0,75.

As propriedades térmicas dos elementos e componentes utilizados nesse sistema construtivo estão indicadas na Tabela 23.

TABELA 23: Propriedades térmicas dos elementos e componentes da edificação calculadas e recomendadas pelas normas NBR 15.220 e NBR 15.575 para a residência de placas de concreto.

CASA DE PLACAS DE CONCRETO, JARAGUÁ DO SUL						
PROPRIEDADES DES TÉRMICAS	PAREDES (placas pré moldadas de concreto e=3cm)			COBERTURA (inclinada, telhas cerâmicas e forro de PVC)		
	Valores Calcula dos	NBR 15.220	NBR 15.575	Valores Calcula dos	NBR 15.220	NBR 15.575
Resistência Térmica $R_t ((m^2.K)/W)$	0,1871	-	-	0,4100	-	-
Capacidade Térmica $C_t (kJ/(m^2.K))$	126	-	-	31,17	-	-
Transmitância Térmica $U_t (W/(m^2.K))$	5,34	$\leq 3,60$	$\leq 3,7$	2,44	$\leq 2,00$	$\leq 1,5^{**}$
Atraso Térmico Φ (horas)	1,1	$\leq 4,3$	-	0,5	$\leq 3,3$	-
Fator Solar (%)	6,4	$\leq 4,0$	-	7,6	$\leq 6,5$	-
Absortância α	0,3	-	-	0,75	x	-
Aceitabilidade*	-	Não	Não	-	Não	Não

*Para serem aceitas as todas as condições devem ser cumpridas simultaneamente.

**A NBR 15.575 recomenda $U \leq 1,5$ para $\alpha > 0,6$

As propriedades térmicas das paredes e da cobertura não estão dentro das condições exigidas pelas normas de desempenho. A alta transmitância térmica encontrada tanto para as paredes quanto para a cobertura está acima dos limites máximos das normas.

As paredes, além da alta transmitância térmica, possuem também alta capacidade térmica se comparada à capacidade térmica das paredes da residência de madeira. A ventilação de resfriamento noturno, prejudicada pelo tamanho inadequado das aberturas de ventilação, e a alta capacidade térmica das paredes podem prejudicar o desempenho térmico no verão, devido à dificuldade em dissipar o calor acumulado durante o dia.

5.4.2.3 Semana do período quente e do período frio.

A Figura 54 mostra o gráfico da distribuição das temperaturas durante a semana de 14 a 20 de abril de 2009.

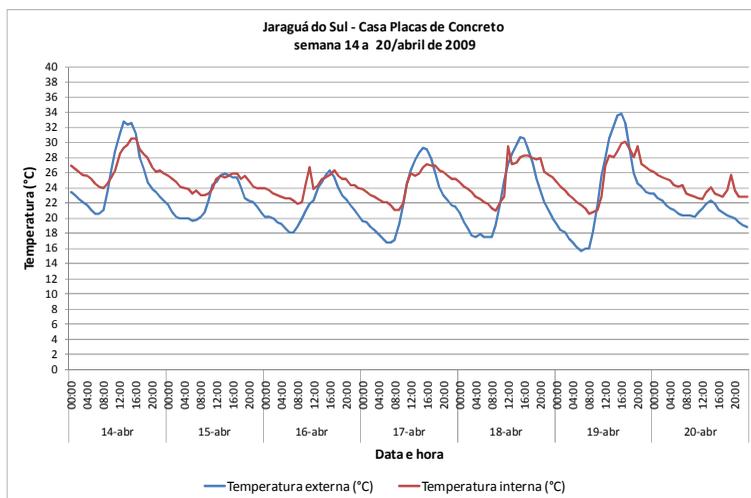


FIGURA 54: Distribuição de temperatura do ar na semana fria na casa de placas de concreto.

A Tabela 24 mostra as temperaturas máximas, médias, mínimas, amplitude térmica e amortecimento para a semana de frio na residência de placas de concreto.

TABELA 24: Temperaturas máximas, médias, mínimas, amplitude térmica e amortecimento térmico para a semana fria na residência de placas de concreto.

Casa placas de concreto - Jaraguá do Sul 14 a 20/abr 2009		
Índices	externo	interno
Temp. máx (°C)	33,80	30,51
Temp. mín. (°C)	15,62	20,57
Temp. média (°C)	22,63	24,88
Amplitude média diária (C°)	10,72	6,00
Amortecimento (%)	-	44%

A cidade de Jaraguá do sul se localiza na zona bioclimática 5 e apresenta temperaturas médias mais elevadas. A semana de temperaturas mais frias dentro do período monitorado teve mínima externa de 15,62°C. A mínima interna registrada durante essa semana foi de 20,57°C.

A amplitude térmica externa foi alta e em um dos dias chegou a quase 20°C, na média diária essa amplitude externa ficou em 10,7°C. A amplitude térmica média diária interna durante essa semana ficou em 6°C obtendo assim um amortecimento na variação de temperatura externa de 44%.

A alta capacidade térmica do concreto garantiu temperaturas mínimas internas cerca de 5°C acima das temperaturas mínimas externas, o que pode ser considerado interessante durante um período frio, porém sua amplitude térmica média diária ainda apresenta valor alto para um desempenho térmico satisfatório.

O gráfico da Figura 55 mostra a distribuição das temperaturas durante a semana de 28/2 a 6/3 de 2009. A tabela 25 mostra as temperaturas máximas, médias, mínimas, amplitude térmica e amortecimento para a semana quente na residência de placas de concreto.

TABELA 25: Temperaturas máximas, médias, mínimas, amplitude térmica e amortecimento térmico para a semana quente na residência de placas de concreto.

Casa Placas de concreto - Jaraguá do Sul 28/fev a 06/mar/2009		
Índices	externo	interno
Temp. máx (°C)	39,00	36,57
Temp. mín. (°C)	22,48	24,98
Temp. média (°C)	28,49	29,42
Amplitude média diária (C°)	10,22	5,98
Amortecimento (%)	-	42%

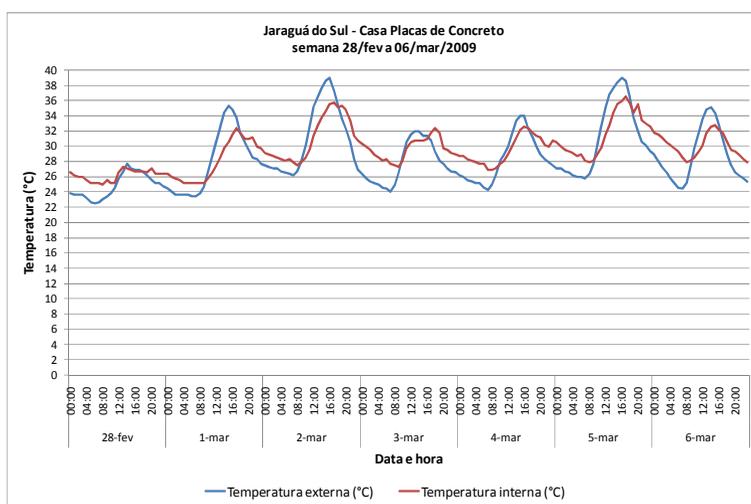


FIGURA 55: Distribuição de temperatura do ar na semana quente na residência de placas de concreto.

De acordo com o gráfico, essa semana apresentou calor intenso com temperaturas máximas externas chegando a 39°C em dois dias, a temperatura mínima externa ficou em 22,5°C. A amplitude térmica média diária externa foi 10,2°C, bem próxima da amplitude verificada na semana fria.

A temperatura máxima interna durante a semana quente foi de 36,57°C. A amplitude térmica interna foi de 5,98°C. As temperaturas médias e mínimas internas ficaram acima das respectivas temperaturas externas, conforme pode ser visto na Tabela 25.

Observa-se no gráfico que as temperaturas máximas internas se mantiveram abaixo das máximas externas em cinco dias da semana, porém essas temperaturas máximas internas foram superiores a 31°C.

A alta transmitância térmica das paredes de concreto permite que a temperatura no interior da residência suba acompanhando de perto a variação da temperatura externa, como também possuem alta capacidade térmica, armazenam grande parte desse calor dificultando sua dissipação posterior e prejudicando o resfriamento da residência.

5.4.2.4 Somatório de Graus Hora

Utilizando os dados registrados por todo o período monitorado foi calculado o somatório de graus hora acima de 26°C e abaixo de 18°C, mostrado na Tabela 26, que mostra também a relação entre os somatórios de graus hora internos e externos para as duas temperaturas.

Tabela 26: Somatórios de graus hora internos e externos acima de 26°C e abaixo de 18°C e a relação entre eles para a residência de placas de concreto.

SISTEMA	CIDADE	Ambiente	Somatório de Graus Hora		Redução - Aumento	
			> 26°C	< 18°C	> 26°C	< 18°C
PLACAS DE CONCRETO	JARAGUÁ DO SUL	EXTERNO	3.523,9	867,2	-	-
		INTERNO	3.526,9	191,1	0%	-78%

O somatório externo de graus hora acima de 26°C foi de 3.523,9 graus hora, praticamente o mesmo valor do somatório de graus hora acima de 26°C registrado no ambiente interno da residência.

Não houve redução do valor do somatório de graus hora interno em relação ao externo para temperaturas acima de 26°C. Esse resultado mostra a dificuldade de residência dissipar o calor ganho durante o dia, mesmo utilizando cobertura leve, as pequenas aberturas de ventilação e a alta capacidade térmica da parede mantêm por mais tempo o calor interno da residência, prejudicando seu resfriamento.

O valor do somatório de graus hora externo abaixo de 18°C foi de 867,2 enquanto o somatório interno ficou em 191,1 graus hora representando um amortecimento de 78%. O desempenho térmico no frio teve melhores resultados, uma vez que as temperaturas externas não foram muito baixas durante o período monitorado.

5.4.3 CASA DE PVC, JARAGUÁ DO SUL

5.4.3.1 Áreas das Aberturas

A Tabela 27 mostra a os valores encontrados para as aberturas da residência de PVC e sua verificação segundo as normas de desempenho.

TABELA 27: Cálculo das aberturas e verificação da aceitabilidade segundo as normas NBR 15.220 e NBR 15.575 para a residência de PVC em Jaraguá do Sul.

Local	Área (m ²)	Área da Janela (m ²)	Área útil (m ²)*	% Área piso	NBR 15.220 15% < A < 25%	NBR 15.575 A > 8%
Sala.	13,0	(1,32)x2	1,32	10,2	Não	Sim

*Nesse caso a abertura útil é 50% da área total da janela. (A abertura útil corresponde ao máximo espaço de ventilação obtido quando ela está totalmente aberta).

As áreas de abertura do ambiente monitorado na residência de PVC foram aprovadas apenas pela NBR 15.575. Com 10,15% da área do piso esse ambiente ainda ficou com suas aberturas de ventilação abaixo dos 15% mínimos exigidos pela NBR 15.220.

5.4.3.2 Propriedades Térmicas

Para calcular as propriedades térmicas das paredes a absorvância utilizada foi $\alpha=0,3$ correspondente à cor amarelo claro utilizada na superfície externa das paredes. Para a cobertura que utilizou telha cerâmica, a absorvância adotada foi 0,75.

As propriedades térmicas dos elementos e componentes utilizados na residência de PVC, calculadas de acordo com a norma NBR 15.220 estão indicadas na Tabela 28.

TABELA 28: Propriedades térmicas dos elementos e componentes da edificação calculadas e recomendadas pelas normas NBR 15.220 e NBR 15.575 para a residência de PVC.

CASA DE PVC, JARAGUÁ DO SUL						
PROPRIEDADES TÉRMICAS	PAREDES (perfil de PVC e=6,4 cm)			COBERTURA (inclinada, telhas cerâmicas e forro de PVC)		
	Valores Calculados	NBR 15.220	NBR 15.575	Valores Calculados	NBR 15.220	NBR 15.575
Resistência Térmica R_t ($m^2.K/W$)	0,23	-	-	0,41	-	-
Capacidade Térmica C_t ($kJ/(m^2.K)$)	249	-	-	32,04	-	-
Transmitância Térmica U_t ($W/(m^2.K)$)	4,34	$\leq 3,6$	$\leq 3,7$	2,44	$\leq 2,00$	$\leq 1,5^{**}$
Atraso Térmico Φ (horas)	5,5	$\leq 4,3$	-	0,8	$\leq 3,3$	-
Fator Solar (%)	5,2	$\leq 4,0$	-	7,3	$\leq 6,5$	-
Absortância α	0,3	-	-	0,75	-	-
Aceitabilidade *	-	Não	Não	-	Não	Não

*Para serem aceitas as todas as condições devem ser cumpridas simultaneamente.

**A NBR 15.575 recomenda $U \leq 1,5$ para $\alpha > 0,6$

Não foram aceitas, de acordo com as duas normas de desempenho, as propriedades térmicas das paredes e nem da cobertura da residência de PVC. A transmitância térmica das paredes ficou um pouco abaixo da obtida na residência de placas de concreto, mas ainda superior àquela recomendada nas normas.

O valor da resistência térmica das paredes ($0,23 m^2.K/W$) é consequência principalmente da presença da camada de concreto com a

qual são preenchidos os perfis de PVC. Esse concreto também eleva a capacidade térmica das paredes que alcançou 249 kJ/(m².K).

5.4.3.3 Semana do período quente e do período frio.

O gráfico da Figura 56 mostra a distribuição das temperaturas durante a semana de 14 a 20 de abril de 2009.

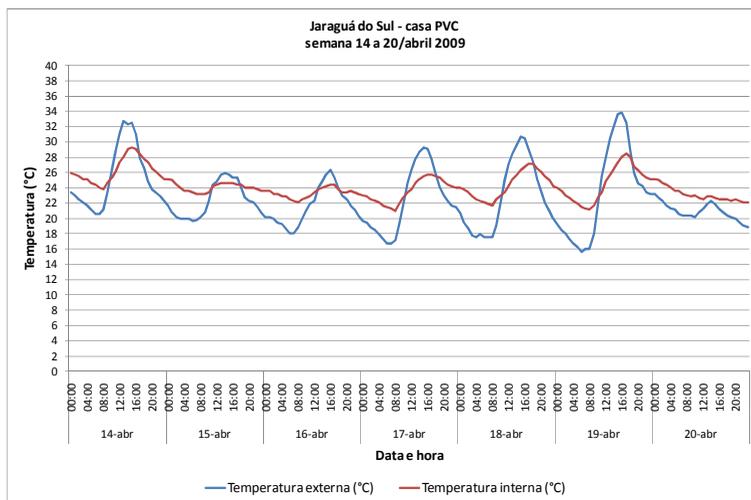


FIGURA 56: Distribuição de temperatura do ar na semana fria na casa de PVC.

A Tabela 29 mostra as temperaturas máximas, médias, mínimas, amplitude térmica e amortecimento para a semana de frio na residência de PVC.

TABELA 29: Temperaturas máximas, médias, mínimas, amplitude térmica e amortecimento térmico para a semana fria na residência de PVC.

Casa PVC - Jaraguá do Sul 14 a 20/abr 2009		
Índices	externo	interno
Temp. máx (°C)	33,80	29,30
Temp. mín. (°C)	15,62	20,95
Temp. média (°C)	22,63	24,16
Amplitude média diária (C°)	10,72	4,34
Amortecimento (%)	-	60%

A temperatura externa foi a mesma utilizada na análise do desempenho térmico da casa de placas de concreto, pois as duas residências se localizam no mesmo loteamento e estão sujeitas às mesmas temperaturas externas.

A amplitude térmica interna na residência de PVC foi menor que na residência de placas de concreto, ficando em $4,34^{\circ}\text{C}$ na semana de frio. A temperatura mínima interna superou os 20°C e o amortecimento térmico obtido foi de 60%, valor superior ao obtido na residência de placas de concreto, conforme mostrado na Tabela 29.

A Figura 57 mostra a distribuição das temperaturas durante a semana de 28 de fevereiro a 6 de março de 2009.

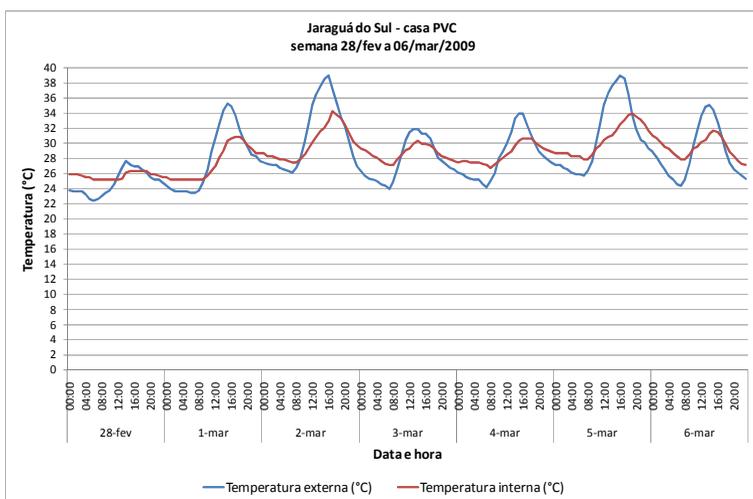


FIGURA 57: Distribuição de temperatura do ar na semana quente na casa de PVC.

A Tabela 30 mostra as temperaturas máximas, médias, mínimas, amplitude térmica e amortecimento para a semana quente na residência de PVC.

TABELA 30: Temperaturas máximas, médias, mínimas, amplitude térmica e amortecimento térmico para a semana quente na residência de PVC.

Casa PVC - Jaraguá do Sul 28/fev a 06/mar/2009		
Índices	externo	interno
Temp. máx (°C)	39,00	34,22
Temp. mín. (°C)	22,48	25,17
Temp. média (°C)	28,49	28,62
Amplitude média diária (C°)	10,22	4,50
Amortecimento (%)	-	56%

A temperatura máxima interna durante essa semana foi de 34,22°C, mais de dois graus abaixo da temperatura interna máxima na residência de placas de concreto. As temperaturas mínimas das duas residências ficaram muito próximas e o amortecimento obtido na casa de PVC foi maior ficando em 56% (Tabela 30).

A maior capacidade térmica das paredes de PVC fez o aumento da temperatura interna ser menor que o aumento da temperatura externa, como visto no gráfico da Figura 57. Assim, com as temperaturas máximas internas reduzidas, diminui-se a amplitude térmica interna.

As aberturas de ventilação maiores e as grades de proteção que permitem que as janelas fiquem abertas por mais tempo durante a noite, ajudam no resfriamento noturno mais efetivo para a casa de PVC, que teve a temperatura interna média durante a semana quente quase um grau mais baixo que a temperatura interna na casa de placas de concreto, durante a mesma semana.

5.4.3.4 Somatório de Graus Hora

Utilizando os dados registrados por todo o período monitorado foi calculado o somatório de graus hora acima de 26°C e abaixo de 18°C. A Tabela 31 mostra os valores encontrados para a residência de PVC. Mostra também a relação entre os somatórios internos e externos para as duas temperaturas.

Tabela 31: Somatórios de graus hora internos e externos acima de 26°C e abaixo de 18°C e a relação entre eles para a residência de PVC.

SISTEMA	CIDADE	Ambiente	Somatório de Graus Hora		Redução - Aumento	
			> 26°C	< 18°C	> 26°C	< 18°C
PVC	JARAGUÁ DO SUL	EXTERNO	3.523,9	867,2	-	-
		INTERNO	2.271,8	205,6	-36%	-76%

A residência de PVC conseguiu reduzir em 36% o somatório de graus hora acima de 26°C registrados na área externa, totalizando no ambiente interno 2.271,8 graus hora acima de 26°C durante o período total monitorado.

A redução de 36% no somatório de graus hora acima de 26°C mostra que esse resultado foi obtido pela capacidade térmica apresentada pelas paredes da casa de PVC. Essa capacidade térmica foi consequência da utilização do concreto com o qual os perfis de PVC são preenchidos. A condição da ventilação noturna de resfriamento também ajudou na redução das temperaturas internas, melhorando o desempenho térmico dessa residência.

A redução no somatório de graus hora abaixo de 18°C ficou em 76%. A alta porcentagem de redução do somatório de graus hora abaixo de 18°C ocorreu também na residência de placas de concreto que obteve 78% de redução. Isso indica que a maior capacidade térmica da residência de PVC não influenciou de forma significativa seu desempenho térmico para o frio considerando o período total. Quando se analisa a semana mais fria dentro do período total, pode-se observar que essa maior capacidade térmica ajudou a residência de PVC no amortecimento térmico que foi de 60%.

5.5 RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E PROPRIEDADES TÉRMICAS

As áreas das aberturas de ventilação e as propriedades térmicas de cada sistema construtivo foram colocadas nas Tabelas 32, 33, 34 e 35, juntamente com as condições de aceitabilidade sugeridas nas normas NBR 15.220 parte 3 e NBR 15.575 parte 4 e 5. Os sistemas construtivos estão agrupados em edificações multifamiliares e unifamiliares.

TABELA 32: Resumo dos resultados das aberturas de ventilação para edificações multifamiliares.

MULTIFAMILIARES							
Condomínio	Local	Área (m ²)	Área da Janela (m ²)	Área útil (m ²)	% Área piso	NBR 15.220 15% < A < 25%	NBR 15.575 A > 8%
Buona Vita	Dor	7,0	1,2	0,6	8,6	Não	Sim
	Sala	9,0	1,44	0,72	8,0	Não	Sim
Vila Paraíso	Dor	8,3	1,2	0,6	7,2	Não	Não
	Sala	14,0	1,44	0,72	5,1	Não	Não
Constantino Caetano	Dor	8,0	1,2	0,6	7,5	Não	Não
	Sala	9,5	1,44	0,72	7,5	Não	Não

As únicas aberturas que superaram os valores mínimos exigidos na norma NBR 15.575 foram as dos ambientes monitorados no condomínio Buona Vita, porém de acordo com a NBR 15.220 essas aberturas ainda não alcançam os valores mínimos recomendados.

TABELA 33: Resumo dos resultados das aberturas de ventilação para edificações unifamiliares.

UNIFAMILIARES							
Residência	Local	Área (m ²)	Área da Janela (m ²)	Área útil (m ²)	% Área piso	NBR 15.220 15% < A < 25%	NBR 15.575 A > 8%
Madeira	Sala.	12,5	2,4	2,4	19,2	Sim	Sim
Placas de concreto	Sala.	13,0	(0,8)x2	0,8	6,15	Não	Não
PVC	Sala.	13,0	(1,32)x2	1,32	10,15	Não	Sim

Para as edificações unifamiliares a residência de madeira, a única que utilizou janelas de abrir com duas folhas que proporcionam 100% de área útil, teve as aberturas aprovadas pelas duas normas.

A Tabela 34 mostra as propriedades térmicas de paredes e coberturas dos sistemas construtivos utilizados nas edificações multifamiliares.

TABELA 34: Resumo das propriedades térmicas dos elementos e componentes das edificações multifamiliares.

PROPRIEDADES TÉRMICAS CALCULADAS PARA AS EDIFICAÇÕES MULTIFAMILIARES										
LOCAL	ELEMENTO	SISTEMA	Rt (m ² .K)/W	Ct kj/(m ² .K)	Ut W/(m ² .K)	Atraso Térmico	Fator Solar - %	Absortância α	NBR 15.220	NBR 15.575
BUONA VITA	PAREDES	Alvenaria convencional	0,4288	157,19	2,33	3,7	2,8	0,4	Sim	Sim
	COBERT.	Cerâmica	0,6100	109,72	1,64	2,1	5,2	0,75	Sim	Não
VILA PARAÍSO	PAREDES	Bloco de concreto	0,3402	155,01	2,94	3,4	4,7	0,4	Não	Sim
	COBERT.	Fibrocimento	0,5190	103,57	1,93	2,5	6,1	0,8	Sim	Não
CONSTANTINO CAETANO	PAREDES	Bloco cerâmico	0,3708	109,41	2,69	2,8	3,2	0,3	Sim	Sim
	COBERT.	Cerâmica	0,6100	109,72	1,64	2,1	5,5	0,8	Sim	Não

*Para serem aceitas as todas as condições devem ser cumpridas simultaneamente.

As propriedades dos sistemas de cobertura dessas edificações multifamiliares não foram aceitas pela norma NBR 15.575, pois os valores da transmitância térmica estavam acima do limite de 1,5 W/(m².K) recomendado para absorvância de superfície, $\alpha > 0,6$.

TABELA 35: Resumo das propriedades térmicas dos elementos e componentes das residências unifamiliares

PROPRIEDADES TÉRMICAS CALCULADAS PARA AS RESIDÊNCIAS UNIFAMILIARES										
LOCAL	ELEMENTO	SISTEMA	Rt (m ² .K)/W	Ct kJ/(m ² .K)	Ut W/(m ² .K)	Atraso Térmico	Fator Solar - %	Absortância α	NBR 15.220	NBR 15.575
SÃO BONIFÁCIO	PAREDES	Madeira.	0,2569	3,45	3,89	0,4	4,7	0,3	Não	Não
	COBERT.	Cerâmica. Forro de madeira	0,3945	31,17	2,53	0,5	7,6	0,75	Não	Não
JARAGUÁ DO SUL	PAREDES	Placas de concreto	0,1871	126	5,34	1,1	6,4	0,3	Não	Não
	COBERT.	Cerâmica. Forro de PVC	0,4100	31,17	2,44	0,5	7,6	0,75	Não	Não
JARAGUÁ DO SUL	PAREDES	PVC	0,2300	249	4,34	5,5	5,2	0,3	Não	Não
	COBERT.	Cerâmica. Forro de PVC	0,4100	32,04	2,44	0,8	7,3	0,75	Não	Não

*Para serem aceitas as todas as condições devem ser cumpridas simultaneamente.

As residências unifamiliares não tiveram as propriedades térmicas de nenhum componente (paredes e cobertura) aceitas pelas duas normas de desempenho. Altas transmitâncias térmicas foram o principal fator de não conformidade.

6 CONCLUSÕES

Este trabalho avaliou o desempenho térmico de seis edificações de interesse social em condições normais de uso, através dos resultados de medições da temperatura do ar, das suas propriedades térmicas e suas características físicas.

As edificações pesquisadas se localizam em cinco municípios do estado de Santa Catarina pertencentes a duas zonas bioclimáticas, Zona 3 e Zona 5, de acordo com a NBR 15.220. Foram pesquisadas edificações multifamiliares e unifamiliares. As multifamiliares são blocos de quatro e dois pavimentos construídos em três sistemas construtivos diferentes e localizados em condomínios fechados. As unifamiliares são residências térreas construídas em três sistemas construtivos diferentes e pertencentes a loteamentos específicos ou espalhadas em diversos bairros do município.

Foi verificado que em sua grande maioria, as aberturas para ventilação das edificações multifamiliares não possuem área adequada, de acordo com os padrões exigidos pelas normas de desempenho.

As edificações multifamiliares tiveram as propriedades térmicas das paredes aceitas pelas duas normas, porém as propriedades térmicas das coberturas das três não estavam conforme a NBR 15.575, a mais recente norma brasileira de desempenho publicada. As unifamiliares não estavam conforme exigem as normas em nenhum item verificado das propriedades térmicas.

Mesmo com as propriedades térmicas das paredes aceitas pelos critérios das normas de desempenho, o desempenho térmico ao calor das edificações multifamiliares não se mostrou satisfatório.

A medição das temperaturas foi feita durante nove meses consecutivos para as edificações multifamiliares e sete meses para as edificações unifamiliares. O somatório de graus hora é um parâmetro de avaliação adequado quando se tem um monitoramento por longos períodos de tempo que contenham estações quentes e frias para que se considere o comportamento térmico da edificação ao longo do ciclo climático anual.

A análise dos parâmetros obtidos com os resultados monitorados em uma semana do período quente e uma semana do período frio permitiu visualizar com mais detalhes o comportamento térmico das unidades habitacionais de um mesmo sistema construtivo. Com essa

análise semanal, observando registros horários de temperatura, as respostas instantâneas da edificação às variações térmicas externas puderam ser acompanhadas, nos períodos extremos de temperatura.

Como as edificações estão situadas em diferentes cidades, zonas bioclimáticas e orientações solares e conseqüentemente suas unidades habitacionais expostas a diferentes condições climáticas, a relação entre os valores do somatório de graus-hora acima de 26°C e abaixo de 18°C internos e externos permitiu comparar a porcentagem de redução ou aumento de graus-hora da edificação em relação ao seu exterior.

Analisando os diversos parâmetros utilizados pôde-se constatar que, para as edificações de interesse social construídas no estado de Santa Catarina, as aberturas verificadas deveriam ter, em média, o dobro da área útil para atender aos padrões das normas de desempenho. O tamanho reduzido das aberturas prejudica o desempenho térmico no calor pela dificuldade no resfriamento adequado da edificação através da ventilação noturna. Esse fator se potencializa nas unidades do térreo devido à falta de segurança gerado pela permanência das janelas abertas, principalmente durante a noite e quando não há ninguém em casa.

Segundo a NBR 15.575, para coberturas com superfícies expostas que possuam absorptância $\alpha > 0,6$ o valor limite da transmitância térmica se reduz de 2,3 W/(m².K) para 1,5 W/(m².K). Assim, as coberturas das edificações multifamiliares que tiveram a transmitância térmica abaixo de 2,3 W/(m².K) poderiam ter sido aceitas por essa norma se fosse utilizada em sua superfície uma cor clara com absorptância $\alpha < 0,6$.

Nas edificações multifamiliares, as unidades do último pavimento e com orientação solar noroeste sofrem especial influência da radiação solar recebida pela cobertura que não possuía barreira radiante em nenhuma edificação estudada, aumentando as temperaturas máximas internas e a amplitude térmica, prejudicando assim o seu desempenho térmico no verão.

A falta de isolamento na cobertura prejudica o desempenho das unidades do último pavimento também no frio, pois junto com a baixa capacidade térmica das paredes, permite a perda do calor interno diminuindo as temperaturas mínimas e aumentando a amplitude interna.

O desempenho térmico para o frio foi pior na edificação de blocos de concreto. Localizada em uma região que apresentou temperaturas muito baixas durante o período monitorado, essa edificação obteve os menores valores de amortecimento térmico durante a semana fria e os maiores somatórios de graus hora abaixo de 18°C, com os piores resultados registrados na unidade da cobertura.

Utilizando a relação dos somatórios de graus hora acima de 26°C internos com os externos, pode-se observar que o sistema de alvenaria convencional, entre as edificações multifamiliares, foi o que apresentou o pior desempenho térmico para o calor durante o período total monitorado, com o valor do somatório de graus-hora interno acima de 26°C na unidade da cobertura quase 150% maior que o somatório externo.

As duas edificações de alvenaria estrutural conseguiram redução do total de graus hora interno acima de 26°C na unidade do térreo. A unidade da cobertura na edificação de blocos cerâmicos teve redução do somatório de graus hora acima de 26°C no quarto, que foi o único ambiente das unidades de cobertura nas edificações multifamiliares que apresentou alguma redução desse valor.

Dessa forma, a edificação de blocos cerâmicos conseguiu diminuir a diferença entre o comportamento térmico das suas unidades do térreo e da cobertura no período de calor, melhorando assim, o desempenho térmico geral da edificação, que no período de calor apresentou os melhores resultados.

Entre as edificações unifamiliares, todas apresentaram mais de 1.000 graus-hora registrados acima de 26°C durante os sete meses monitorados, porém o pior desempenho térmico ao calor ficou com a edificação de placas de concreto. Esse sistema construtivo possui alta transmitância térmica na cobertura e alta capacidade térmica nas paredes, o tamanho reduzido das janelas sem grades faz diminuir o tempo que permanecem abertas. Dessa forma, essa residência apresentou as maiores temperaturas máximas internas verificadas na semana quente e o maior somatório de graus-hora acima de 26°C (3.526,9), com redução quase nula em relação ao somatório de graus-hora externo.

A residência de PVC apresentou esse valor cerca de 35% menor para as mesmas temperaturas externas. A cobertura era do mesmo sistema, porém a capacidade térmica das paredes era 97% maior que as de placas de concreto.

A casa de madeira apresentou pior desempenho térmico ao frio entre as edificações unifamiliares analisando-a tanto pelos parâmetros do período semanal quanto do período total. Esse baixo desempenho foi causado por fatores específicos deste sistema construtivo. Paredes muito finas com baixa resistência e capacidade térmica, o piso elevado do solo e as grandes aberturas de ventilação são fatores que aumentam as trocas

de calor da edificação que por estar localizada em região de clima frio tem seu desempenho térmico prejudicado nessas condições climáticas.

6.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE O DESEMPENHO

De maneira geral o desempenho térmico das habitações de interesse social pode ser melhorado através de medidas simples como escolha correta das cores das paredes externas, uso de cores claras nas coberturas, e o cuidado para garantir que as aberturas de ventilação respeitem as dimensões mínimas recomendadas nas normas

Ainda considerando as contribuições arquitetônicas para as edificações multifamiliares, pode-se ter um projeto que inclua mais áreas sombreadas e a utilização de proteções solares que devem ser específicas para cada caso e projetadas considerando a orientação solar do bloco.

Nos blocos das edificações multifamiliares, a combinação da orientação solar da unidade habitacional com o pavimento em que ela está localizada tem forte influência em seu desempenho térmico.

A avaliação do desempenho térmico de edificações em uso é interessante por considerar os resultados do comportamento real da edificação. Esse comportamento por sua vez é resultado da ação de muitas variáveis relacionadas tanto com o padrão de uso de cada morador como com as características climáticas do local da edificação. Essas variáveis devem estar sob controle, no maior número possível, para permitir comparações e estabelecimentos de padrões aceitáveis.

As causas de um desempenho térmico ruim e as soluções para se obter um desempenho satisfatório são, quase sempre, um conjunto de pequenos fatores que se somam potencializando o resultado final.

Em habitações de interesse social onde ações de melhora de desempenho que envolvem elevação de custos não costumam ser adotadas, torna-se mais importante garantir a soma do maior número possível de pequenas medidas de fácil incorporação e baixo custo, contribuindo para um resultado final adequado às necessidades dos moradores.

6.2 LIMITAÇÕES DESTE TRABALHO

A avaliação do desempenho térmico das edificações em uso, por considerar os resultados do comportamento real da edificação, deve considerar a ação de muitas variáveis de difícil controle no resultado final do desempenho.

Dentre essas variáveis, o padrão de uso de cada morador, que tem grande influência no desempenho térmico da unidade habitacional pela utilização das janelas e equipamentos geradores de calor, não foi bem controlado e essas influências não puderam ser corretamente mensuradas.

As características climáticas diferentes nos locais das edificações, não permitiram uma comparação direta do desempenho térmico entre os diferentes sistemas construtivos.

Houve dificuldade em conseguir monitorar as unidades habitacionais escolhidas pela orientação solar em combinação com a localização nos pavimentos térreo e cobertura. Foi realizada apenas uma visita ao local para encontrar os moradores dessas unidades e fazer a instalação dos equipamentos, então quando não eram encontrados em casa, outras unidades tiveram que ser escolhidas.

A disponibilidade para monitoramento de um ano completo também não foi possível devido ao tempo de imobilização dos equipamentos do laboratório e a disponibilidade dos moradores em receber o pesquisador para constante coleta de dados e reprogramação dos equipamentos.

6.3 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Recomenda-se para trabalhos futuros um estudo de comparação do desempenho térmico de edificações de diferentes sistemas construtivos que estejam em uma mesma condição climática externa, assim os resultados poderiam ser comparados diretamente e poderia ser feita uma classificação paramétrica dos sistemas construtivos em função do seu desempenho térmico. A avaliação do desempenho térmico através de medição também deve considerar um controle adequado do padrão de uso dos moradores.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220-1** Desempenho Térmico Em Edificações. 2005. Parte 1: Definições, símbolos e unidades.

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220-2** Desempenho Térmico Em Edificações. 2005. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações.

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 15.220-3** Desempenho Térmico Em Edificações. 2005. Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social.

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 15.575-1** Desempenho em Edifícios Habitacionais de até cinco pavimentos. 2008. Parte 1: Requisitos gerais.

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 15.575-4** Desempenho em Edifícios Habitacionais de até cinco pavimentos. 2008. Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas.

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 15.575-5** Desempenho em Edifícios Habitacionais de até cinco pavimentos. 2008. Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE 55/2004**: Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, 2004.

AKUTSU, M.; VITTORINO, F. **Proposta de procedimento para o tratamento de dados climáticos**. In: Encontro Nacional de Normalização Ligada ao Uso Racional de Energia e ao Conforto Ambiental em Edificações, 1. Florianópolis. UFSC, 1991b. p. 213-226.

BARBOSA, Miriam Jerônimo. Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares. Tese. UFSC, Florianópolis, 1997.

BARBOSA, M. J.; WEILLER, G. C. B.; LAMBERTS, R. **Disposição dos equipamentos para medição da temperatura do ar em edificações**. AMBIENTE CONSTRUÍDO, Porto Alegre, V7 N3, p. 89-108, 2007.

BARBOSA, Mirian Jerônimo; LAMBERTS, Roberto. **Uma Metodologia Para Especificar E Avaliar O Desempenho Térmico De Edificações Residenciais Unifamiliares, Aplicada a Londrina** - Pr. AMBIENTE CONSTRUÍDO, Porto Alegre, V2 N1, p. 15-28, 2002

BERALDO, Juliano Coronato. Avaliação de uma proposta de regulamento de desempenho térmico para a arquitetura do estado de São Paulo, Dissertação; FAU, USP; 2006.

BRITO, Adriana Camargo de. Recomendações para projetos habitacionais com pré-fabricados leves de concreto visando otimização do desempenho térmico. Dissertação. IPT. São Paulo, 2007.

CARVALHO, Andre Calvoso, Estudo Comparativo Entre Placas de Argamassa Com Casca de Arroz e Tijolo Cerâmico de Oito Furos Para Melhoria do Desempenho Térmico nas Habitações de Clima Tropical Continental, Dissertação, UFMTG 2004.

DAMÉ, L. M. Habitação PAR, desempenho impar? Uma avaliação funcional unidades multifamiliares em Pelotas, RS. 2008, Dissertação – UFSC, Florianópolis, 2008.

DENCKER K. C. G. L.; LAMBERTS, R. Desempenho Térmico de uma Residência Naturalmente Ventilada Localizada na Cidade de Manaus. Artigo. In: XII ENTAC 2008.

FANGER, P. **Thermal Comfort: analysis in environmental engineering**. Kingsport: McGraw-Hill, 1970.

GHISI, E. MASSIGNANI, R. F. Thermal performance of bedrooms in a multi-storey residential building in southern Brazil. **Building and Environment** 42 (2007) 730–742.

GIGLIO, T. G. F.; BARBOSA, M. J.. **Aplicação de métodos de avaliação do desempenho térmico para analisar painéis de vedação em madeira**. AMBIENTE CONSTRUÍDO, Porto Alegre, V6 N3, p. 91-103, 2006.

GIVONI, B. 1992. Comfort, climate analysis and building design guidelines. In: **Energy and Building**, 18. (1992), 11-23.

GIVONI, B. 1992. **Man, Climate and Architecture**. London. Applied Science Publishers Ltd. 483pp.

GOULART, S. O Papel da inércia térmica como técnica de resfriamento passivo para residências em clima quente e úmido – estudo de caso em Florianópolis. Artigo. In ENTAC 2002. Architectural Association Graduate School, London. 2002.

GOULART, S. ; LAMBERTS, R. **Metodologias de tratamento de dados climáticos para análises térmicas em edificações**. in:

ENTAC 93 Avanços em tecnologia e gestão de edificações. São Paulo:ANTAC, 1993a p 941-950.

GOULART, S.V.G. Dados climáticos para avaliação de desempenho térmicos de edificações em Florianópolis. Dissertação. Florianópolis, UFSC, 1993. 110 p.

GOULART, S.; BARBOSA, M. J.; PIETROBON, C. E.; BOGO, A.; PITTA, T. **Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico**. Florianópolis: UFSC, 1994. Relatório interno - 02 / 94 NPCC mimeo.

GRIGOLETTI, G.; SATTTLER, M.; MORELLO, A.; Analysis of thermal behavior of a low-cost, single-family, more sustainable house in Porto Alegre, Brasil. Artigo, *Energy and Buildings* 40 (2008) 1961-1971.

HALWATURA, R.U. JAYASINGHE, M.T.R. Thermal performance of insulated roof slabs in tropical climates. Department of Civil Engineering, University of Moratuwa, Moratuwa, Sri Lanka. **Energy and Buildings** 40 (2008) 1153–1160.

JONES. P. J., ALEXANDER D. K. RAHMAN A. M. **Evaluation of Thermal Performance of Low-Cost Tropical Housing**. Artigo, Weish School of Architecture, UWCC, 1991.

KRÜGER, E. L.; LAROCA, C. Thermal performance evaluation of a low-cost housing prototype made with plywood panels in Southern Brazil. Artigo. In: **Applied Energy** 87 (2009) 661-672.

KRÜGER, Eduardo Leite;ZANNIN, Paulo Henrique Trombetta. **Avaliação termoacústica de habitações populares na vila tecnológica de Curitiba** . AMBIENTE CONSTRUÍDO, Porto Alegre, V6 N2, p. 33-44, 2006

LAMBERTS R.; XAVIER, A. A. P. **Conforto térmico e Stress Térmico**. 2002. 111p. Apostila.Centro Tecnológico. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, PR. 2002.

LAMBERTS R.; GHISI E.; PAPST, A. L. **Desempenho térmico de edificações**. 2000. 152 p. Apostila da Disciplina ECV – 5161 – Conforto Térmico – Laboratório de Eficiência Energética. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, PR. 2000.

LAROCA, C. KRÜGER, E. L. MATOS, J.M. Avaliação de Desempenho Térmico de Protótipo de Habitação Social Desenvolvido para o Estado de Santa Catarina. Artigo.in: XII ENTAC. 2008.

LEÃO, Marlon. **Desempenho térmico em habitações populares para regiões de clima tropical: Estudo de caso em Cuiabá-MT**.

2006. 102 p. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2006.

MENDES, Nathan; WESTPHAL, Fernando Simon; LAMBERTS, Roberto; NETO, José A. Bellini da Cunha. **Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil**. AMBIENTE CONSTRUÍDO, Porto Alegre, V5 N4, p. 47-68, 2005.

NOGUEIRA, M.C.J.A.; OLVEIRA, A.S.; MACIEL, C.R.; NOGUEIRA, J.S.; LOGSDON, L.; OLIVEIRA, P.T.A.; DURANTE, L.C. **Avaliação de desempenho térmico e lumínico em habitações de interesse social em Cuiabá – MT**. Artigo. In: ENTAC 2008.

PAPST, Ana Lígia. Uso de inércia térmica no clima subtropical - estudo de caso em Florianópolis, SC. Dissertação. UFSC, Florianópolis, 1999.

PAPST, Ana Lígia. Método estimativo da temperatura interna de edificações residenciais em uso. Tese. UFSC, Florianópolis, 2004.

PORTO, L. B. ; BARBOSA, M. J. **Avaliação do desempenho térmico de edificações de interesse social a partir de dados de campo**. Londrina. Universidade Estadual de Londrina. Artigo. In: ENTAC 2008.

RAHAL, M. S. (2006). **O conforto térmico nas Residências de Rino Levi**. Dissertação – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 2006.

ROTTA, R. Desempenho térmico de edificações multifamiliares de interesse social em conjuntos habitacionais na cidade de Santa Maria – RS. Dissertação. UFSM, Santa Maria, 2009. 131p.

VITTORINO, F. **Desempenho Térmico de Habitações: Critérios e Métodos no Brasil e Exterior**. Aula da Disciplina Sistemas Construtivos do Mestrado em Tecnologia da Habitação do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 2003.

WESTPHAL, Fernando Simon; LAMBERTS, Roberto. **Simulação térmica e energética de edificações a partir de dados climáticos simplificados: validação através do método BESTEST**. AMBIENTE CONSTRUÍDO, Porto Alegre, V4 N3, p. 37-49, 2004.