

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO
MESTRADO EM DINÂMICAS DO ESPAÇO HABITADO-DEHA

DISSERTAÇÃO MESTRADO

TAYNAH TELES FEIJÓ

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE PAINÉIS DE VEDAÇÃO
PRODUZIDOS COM FIBROCIMENTO APLICÁVEIS À HABITAÇÃO
DE INTERESSE SOCIAL EM MACEIÓ-AL**

MACEIÓ
2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO
MESTRADO EM DINÂMICAS DO ESPAÇO HABITADO-DEHA

TAYNAH TELES FEIJÓ

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE PAINÉIS DE VEDAÇÃO
PRODUZIDOS COM FIBROCIMENTO APLICÁVEIS À HABITAÇÃO
DE INTERESSE SOCIAL EM MACEIÓ-AL**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas como requisito final para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Prof^a. Dra. Gianna Melo Barbirato

MACEIÓ
2013

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária Responsável: Fabiana Camargo dos Santos

F297a Feijó, Taynah Teles.
Análise do desempenho térmico de painéis de vedação produzidos com fibrocimento aplicáveis à habitação de interesse social em Maceió - AL / Taynah Teles Feijó. – 2013.
115 f. : il.

Orientadora: Gianna Melo Barbirato.
Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo : Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2013.

Bibliografia: f. 105-110.
Anexos: f. 111-115.

1. Desempenho térmico. 2. Pannel de vedação. 3. Habitação de interesse social. I. Título.

CDU: 728.22

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO
MESTRADO EM DINÂMICAS DO ESPAÇO HABITADO
DEHA

TAYNAH TELES FEIJÓ

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE PAINÉIS DE VEDAÇÃO
PRODUZIDOS COM FIBROCIMENTO APLICÁVEIS À HABITAÇÃO
DE INTERESSE SOCIAL EM MACEIÓ-AL**

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de
Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de
Alagoas, como requisito final para obtenção do grau
de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Aprovada em

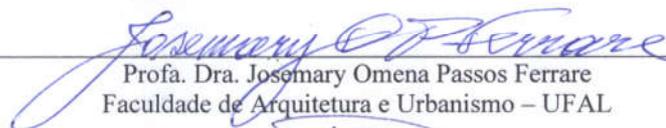
BANCA EXAMINADORA



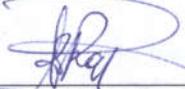
Prof. Dra. Gianna Melo Barbirata
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL



Prof. Dr. George Santos Marinho
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN



Prof. Dra. Josemary Omena Passos Ferrare
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL



Prof. Dra. Aline da Silva Ramos Barboza
Centro de Tecnologia, - UFAL

*Ao meu avô Raimundo (in memoriam) por
todo zelo e carinho com sua primeira
neta.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me conduzir a fazer as escolhas certas da minha vida.

A toda a minha família, principalmente aos meus pais, que sempre deram prioridade a minha educação e me ensinaram a dar valor ao conhecimento.

Ao meu marido Daniel, que além de todo o amor, atenção e força, abdicou de suas poucas folgas no trabalho para me auxiliar durante as análises laboratoriais e na elaboração dos gráficos desta pesquisa.

A querida Gianna, por todo carinho, atenção e incentivo durante todas as fases deste trabalho. Obrigada pelas conversas, orientações e compreensão!

Ao Laboratório de Transferência de Calor da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, aos alunos de iniciação científica Clara Azevedo e Ilke dos Santos e principalmente ao professor George Marinho pelo apoio fundamental durante as análises laboratoriais.

A professora Juliana Oliveira pelos ensinamentos durante o estágio docência e pela ajuda imprescindível durante as análises computacionais.

Ao Grupo de Estudos de Análise Experimental de Estruturas e Materiais da Universidade Federal de Alagoas pelo apoio técnico e a professora Aline Ramos pelo incentivo e colaboração.

Aos amigos do Grupo de Estudos em Conforto Ambiental (GECA) que de alguma forma me auxiliaram neste trabalho. E a Alice e Maria Regina que dividiram comigo as angústias e apreensões durante todo o mestrado.

A CAPES, pela bolsa concedida, indispensável para realização desta pesquisa.

Por fim, a todos que de alguma forma me incentivaram durante esta jornada.

RESUMO

Na presente pesquisa teve-se como objetivo analisar o desempenho térmico de um sistema de vedação vertical produzido com painéis de fibrocimento, para aplicação em habitação de interesse social inserida no contexto climático de Maceió-AL. Os painéis de vedação em estudo são constituídos por uma placa pré-moldada formada por materiais compósitos de base cimentícia e enriquecido com fibra vegetal de pó de serra. Para avaliação do desempenho térmico foi realizada uma análise laboratorial das propriedades termofísicas de amostras do compósito de matriz de cimento com reforços de fibra vegetal, análise laboratorial do desempenho térmico de amostras do painel produzido com fibrocimento, monitoramento *in loco* e simulação computacional de uma edificação construída com o sistema de vedação produzido com fibrocimento. Na análise das propriedades termofísicas constatou-se um desempenho superior do painel produzido com fibrocimento em relação ao painel de concreto. Já na análise laboratorial e na simulação computacional observou-se um melhor desempenho térmico do painel de concreto. Com base nos resultados concluiu-se que o espaço de ar existente no painel produzido com fibrocimento é o elemento responsável pelo armazenamento de calor e consequentemente aumento da temperatura no interior da edificação. Também foi evidenciado a importância do tipo de material que compõe a cobertura de edificações situadas na zona bioclimática 8 como elemento essencial para garantir o bom desempenho térmico da mesma. No caso do painel em estudo, seu desempenho térmico como elemento de vedação na edificação foi satisfatório quando associado a um sistema de cobertura de telha cerâmica com pintura branca e forro de concreto, apresentando um percentual de horas confortáveis de 62,5 % nos quartos e 60 % na sala. Quando acrescido, além do sistema de cobertura citado, um isolante térmico no interior do painel obtiveram-se 66,66 % de horas confortáveis no quarto e 60 % na sala.

Palavras-chave: Desempenho térmico; Painel de vedação; Habitação de interesse social.

ABSTRACT

The main objective of this research is to analyze the thermal performance of a sealing system produced with fiber cement panels for application in social housing within the context of climate Maceió-AL. The insulating panels in study are made of a preformed plate formed of cementitious composite materials and enriched with vegetable fiber sawdust. To evaluate the thermal performance was performed laboratory analysis of the thermo physical properties of the sample matrix composite reinforced fiber cement plant laboratory analysis of the thermal performance of samples produced with fiber cement panel, monitoring *in loco* and computer simulation of a building constructed with insulating system produced with cement. The analysis of the thermophysical results in superior performance on panel produced with cement over the concrete panel. In laboratory analysis and computer simulation in general, have confirmed a better thermal performance of the concrete panel. The results showed that the space with air in the existing panel produced with fiber cement is the element responsible for the storage of heat and consequently increase the temperature inside the building. It was also shown the importance of the type of material that makes up the roof of bioclimatic buildings in Zone 8 as an essential element to ensure good thermal performance of itself. In the case of the panel study, the thermal performance and sealing the building, was satisfactory when combined with a coverage of ceramic tile with white paint and concrete roof, with a percentage of 62,5 % for comfortable hours in bedrooms and 60 % in the living room. When added in the system cover above a thermal insulator on the inside of the panel was obtained 66,66 % of the room comfortable hours and 60 % in the room.

Keywords : Thermal performance; Insulating panels; Social interest housing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Zoneamento Bioclimático Brasileiro.....	23
Figura 2 –	Métodos alternativos de avaliação do desempenho térmico.....	25
Figura 3 –	Transferência de calor em uma parede.....	30
Figura 4 –	Aplicação de painéis de concreto.....	40
Figura 5 –	Fachadas reproduzidas com painéis GRC.....	41
Figura 6 –	Construções produzidas com painéis de vedação de bloco cerâmico.....	41
Figura 7 –	Montagem dos painéis de vedação em concreto de PVC....	42
Figura 8 –	Casa construída com painéis de vedação em concreto de PVC.....	43
Figura 9 –	Concretagem e desmoldagem dos painéis.....	43
Figura 10 –	Preparação dos painéis alveolares.....	44
Figura 11 –	Painéis de vedação produzidos com fibrocimento.....	45
Figura 12 –	Seção transversal do painel (dimensão em mm).....	47
Figura 13 –	Seção transversal do painel (dimensão em mm).....	47
Figura 14 –	Montagem dos painéis.....	48
Figura 15 –	O medidor de propriedades termofísicas Analyzer KD-2 Pro.....	50
Figura 16 –	Sonda TR-1.....	51
Figura 17 –	Corpos de prova (1=concreto; 2,3 e 4=compósito base de cimentícia e fibra vegetal).....	52
Figura 18 –	Pino piloto para moldagem da abertura central no corpo de prova.....	53
Figura 19 –	Preparação para análise das propriedades termofísicas do corpo de prova.....	54
Figura 20 –	Preparação para análise das propriedades termofísicas do corpo de prova.....	55
Figura 21 –	KD2 Pro no momento da medição.....	56
Figura 22 –	Câmara de ensaio.....	57
Figura 23 –	Banco de lâmpadas incandescentes.....	57

Figura 24 –	Placas no momento de corte para amostragem.....	58
Figura 25 –	Amostras com 50cm x 50cm x 10cm.....	58
Figura 26 –	Painel envolto por espuma fixada por uma fita.....	58
Figura 27 –	Painel preparado para análise.....	58
Figura 28 –	Localização dos termopares nas câmaras de ensaio.....	59
Figura 29 –	Computador que recebe os dados de temperatura registrados pelos termopares.....	60
Figura 30 –	Câmara de ensaio com as amostras posicionadas.....	60
Figura 31 –	Avaliação de desempenho térmico das amostras.....	61
Figura 32 –	Gráfico do clima para a cidade de Maceió.....	63
Figura 33 –	Protótipo analisado – conjunto habitacional em fase de construção.....	64
Figura 34 –	Planta Baixa do protótipo analisado.....	65
Figura 35 –	Equipamento no momento do monitoramento.....	66
Figura 36 –	Modelação da edificação.....	72
Figura 37 -	Tela de edição do <i>EnergyPlus</i> , no qual são inseridos as características da edificação em estudo.....	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Temperaturas típicas das capitais Brasileiras (Normais Climatológicas 1961-1990).....	27
Tabela 2 –	Transmitância térmica de paredes externas.....	28
Tabela 3 –	Capacidade térmica de paredes externas.....	28
Tabela 4 –	Critério de avaliação de desempenho térmico para condição de verão.....	29
Tabela 5 –	Condutividade térmica de alguns materiais	31
Tabela 6 –	Síntese de estudos recentes – Desempenho Térmico.....	38
Tabela 7 –	Características técnicas do painel.....	45
Tabela 8 –	Condutividade térmica de alguns materiais.....	50
Tabela 9 –	Características do sensor TR-1.....	52
Tabela 10 –	Propriedades termofísicas das amostras.....	74
Tabela 11 –	Síntese dos resultados – Simulação computacional.....	102

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Especificações técnicas do protótipo.....	64
Quadro 2 –	Limites de conforto de Rivero (1985).....	67
Quadro 3 –	Parâmetros fixos e parâmetros variáveis utilizados nas simulações computacionais.....	70
Quadro 4 –	Especificações técnicas do modelo utilizado na simulação computacional.....	71
Quadro 5 –	Intervenções para simulação computacional.....	71

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Condutividade térmica das amostras obtidas através da análise laboratorial.....	75
Gráfico 2 – Resistência térmica das amostras obtidas através da análise laboratorial.....	76
Gráfico 3– Condutividade térmica das amostras analisadas.....	76
Gráfico 4 – Resistência térmica das amostras analisadas.....	77
Gráfico 5 – Temperatura na face externa das amostras – 2° e 5° dia.....	81
Gráfico 6 – Temperatura na face externa das amostras – 3° e 6° dia.....	81
Gráfico 7 – Temperatura na face externa das amostras – 4° e 7° dia.....	82
Gráfico 8 – Temperatura na face externa das amostras – média.....	82
Gráfico 9 – Temperatura na face interna das amostras - 2° e 5° dia.....	84
Gráfico 10 – Temperatura na face interna das amostras - 3° e 6° dia.....	84
Gráfico 11 – Temperatura na face interna das amostras - 4° e 7° dia.....	85
Gráfico 12 – Temperatura na face interna das amostras – média.....	85
Gráfico 13 – Temperatura no meio da câmara - 2° e 5° dia.....	87
Gráfico 14 – Temperatura no meio da câmara - 3° e 6° dia.....	87
Gráfico 15 – Temperatura no meio da câmara - 4° e 7° dia.....	88
Gráfico 16 – Temperatura no meio da câmara – média.....	88
Gráfico 17 – Temperatura no piso da câmara - 2° e 5° dia.....	89
Gráfico 18 – Temperatura no piso da câmara - 3° e 6° dia.....	90
Gráfico 19 – Temperatura no piso da câmara - 4° e 7° dia.....	90
Gráfico 20 – Temperatura no piso da câmara – média.....	91
Gráfico 21 – Temperaturas internas e externas da sala.....	92
Gráfico 22 – Temperaturas internas e externas do quarto.....	92
Gráfico 23 – Temperaturas internas da sala confrontados com os valores de conforto de Rivero (1985).....	93
Gráfico 24 – Temperaturas internas do quarto confrontados com os valores de conforto de Rivero (1985).....	94
Gráfico 25 – Temperaturas internas da sala plotados sobre os índices de Peeters et al (2009).....	95
Gráfico 26 – Temperaturas internas do quarto plotados sobre os índices	

de Peeters et al (2009).....	95
Gráfico 27 – Simulação 1 - dia típico de verão (16 março).....	96
Gráfico 28 – Simulação 2 - dia típico de verão (16 março).....	97
Gráfico 29 – Simulação 3 - dia típico de verão (16 março).....	98
Gráfico 30 – Simulação 4 - dia típico de verão (16 março).....	99
Gráfico 31 – Simulação 5 - dia típico de verão (16 março).....	100
Gráfico 32 – Simulação do comportamento anual da temperatura do ar na sala.....	101
Gráfico 33 – Simulação do comportamento anual da temperatura do ar no quarto.....	102

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1	Desempenho térmico	21
2.2	A normatização brasileira para desempenho térmico	21
2.2.1	NBR 15220	22
2.2.2	NBR 15575	24
2.3	Transferência de Calor em envoltórias	29
2.3.1	Propriedades Termofísicas	30
2.4	Avaliação de Desempenho Térmico: estudos recentes	33
2.5	O uso de painéis de vedação na construção civil	39
3	PROCEDIMENTOS	45
3.1	Caracterização do painel	45
3.2	Monitoramento em laboratório	49
3.2.1	Obtenção das propriedades termofísicas	49
3.2.2	Análise laboratorial do desempenho térmico	56
3.3	Monitoramento <i>in loco</i>	62
3.3.1	Perfil climático de Maceió	62
3.3.2	Caracterização da edificação	64
3.3.3	Monitoramento piloto	66
3.4	Simulação computacional	69
3.5	Estimativa das condições de conforto térmico interno	73
3.6	Síntese dos resultados e discussões	73
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	74
4.1	Análise laboratorial das propriedades termofísicas	74
4.2	Cálculo das resistências térmicas (R, R_t e R_T) e da transmitância térmica (U)	77
4.3	Análise laboratorial do desempenho térmico dos painéis	79
4.3.1	Temperatura na face externa das amostras	80
4.3.2	Temperatura na face interna das amostras	83
4.3.3	Temperatura no meio da câmara	86
4.3.4	Temperatura no piso da câmara	89

4.4	Monitoramento <i>in loco</i>	91
4.5	Simulação computacional	96
5	CONCLUSÕES	103
	REFERÊNCIAS	105
	ANEXOS	111

1 INTRODUÇÃO

Em tempos como hoje, quando o planeta clama por ações sustentáveis, é primordial na construção civil, o uso de tecnologias que incorporem o bom desempenho térmico e beneficiem tanto a natureza como o processo de produção de edifícios.

A preocupação com o conforto ambiental urbano e das construções é vista desde o século I a.C, quando Vitruvius aborda em seu “Tratado de Arquitetura” questões como a implantação das cidades, orientação dos compartimentos de um edifício, o conforto interno da casa, a importância da iluminação natural, os materiais adequados à construção, dentre outros aspectos relacionados ao conforto e à conformação das cidades e das edificações (VITRÚVIO, 2007).

O grande avanço tecnológico decorrente da Revolução Industrial acarretou em novas descobertas construtivas e estruturais. Neste momento foram introduzidos novos materiais como o vidro, o aço e o concreto que substituíam na construção civil o uso da madeira e da pedra.

Porém, as grandes transformações sociais, econômicas e tecnológicas, criaram após a II Guerra Mundial um padrão que na maioria das vezes desconsiderava a questão ambiental na arquitetura. A utilização demasiada de iluminação e climatização artificial nos projetos é um dos exemplos da displicência quanto ao conforto ambiental nas edificações.

Em contrapartida, as inovações tecnológicas de uma maneira geral costumam beneficiar somente a população de maior poder aquisitivo, que pode pagar para usufruir dessas tecnologias. Surge então necessidade de se utilizar alguns artifícios que proporcionem conforto. Deste modo, a adequação climática das edificações (através do uso de estratégias bioclimáticas) assim como o uso de “materiais inteligentes” (que incorporam qualidade à produtividade) consolidam-se como preceitos fundamentais em um projeto arquitetônico de edificações, em especial no setor habitacional.

A demanda por edificações nas cidades motiva inúmeras inovações tecnológicas estimuladas pela racionalização e industrialização da construção civil, que devem ser avaliadas com o objetivo de garantir a aquisição dos níveis mínimos de conforto exigido pelos usuários no setor de habitações.

Com o intuito de resolver parte dos problemas relacionados à construção das habitações do país, as avaliações de desempenho visam melhorias no padrão dessas edificações, além de recomendações e diretrizes para futuros projetos e construções.

Os estudos sobre avaliação de desempenho térmico no Brasil veem se intensificando desde os anos 1980, com o intuito de aperfeiçoar a qualidade das edificações construídas no país. Porém, percebe-se que a troca de informações entre pesquisadores e os setores públicos ligados à construção civil ainda é deficiente.

Alguns programas relacionados à habitação de interesse social têm sido instituídos no Brasil com o objetivo de amenizar o *déficit* habitacional¹ ao passo que procura elevar a qualidade do padrão de produção dessas habitações.

O Programa Brasileiro da Qualidade Produtiva do Habitat (PBQP – Habitat) foi criado pelo governo federal em 1998 com o intuito de melhorar a qualidade e produtividade da construção civil através do incentivo à implantação de mecanismos de modernização tecnológica para habitações de interesse social. Outra ação importante do governo federal foi a criação da Política Nacional de Habitação em 2004, que promove condições de acesso à moradia digna, principalmente para a população de baixa renda, baseado em princípios de sustentabilidade do ambiente, aumento da vida útil das construções, utilização dos padrões mínimos de conforto, entre outros aspectos (BRASIL, 2012).

Problemas como os impactos dos materiais e do processo construtivo no meio ambiente solicitam maior reflexão e avaliação com o intuito de vincular o padrão das habitações populares no país ao conforto ambiental dos usuários e à qualidade e sustentabilidade nas construções.

Com relação ao processo de inovação estimulado pelo avanço tecnológico, o Manual de Oslo² considera que apesar do desenvolvimento e difusão de novas tecnologias (que são primordiais para o crescimento da produção e o aumento da produtividade) o homem ainda não possui um conhecimento pleno sobre o processo

¹ De acordo com o Ministério das Cidades (Brasil, 2011) o *déficit* habitacional brasileiro é de 5,546 milhões de moradias dos quais 83,5% significam *déficit* em áreas urbanas.

² Fonte internacional de diretrizes para coleta e uso de dados sobre atividades inovadoras da indústria.

de inovação, que apesar de apresentar-se em constante evolução possui escassas taxas de crescimento da produção e poucas melhorias na produtividade.

As particularidades referentes à conformação de uma nova tecnologia no mercado são vistas como Inovações Tecnológicas em Produtos e Processos de acordo com a definição a seguir:

Inovações Tecnológicas em Produtos e Processos (TPP) compreendem as implantações de produtos e processos tecnologicamente novos e substanciais melhorias tecnológicas em produtos e processos. Uma inovação TPP é considerada **implantada** se tiver sido introduzida no mercado (inovação de produto) ou usada no processo de produção (inovação de processo). Uma inovação TPP envolve uma série de **atividades** científicas, tecnológicas, organizacionais, financeiras e comerciais. Uma **empresa inovadora em TPP** é uma empresa que tenha implantado produtos ou processos tecnologicamente novos ou com substancial melhoria tecnológica durante o período em análise (Manual de Oslo, S/D, p.54).

Menezes (2006) argumenta que deve haver uma conformidade entre as definições tecnológicas e os parâmetros técnicos estabelecidos por normas nacionais e internacionais para que as edificações ofereçam condições de habitabilidade e conforto aos seus ocupantes.

Quanto à inserção de novos referenciais construtivos que favorecem as condições de conforto, Costa (2011) destaca que:

Uma vez que o conforto térmico é uma base importante para que as condições de habitabilidade sejam alcançadas em uma edificação, é de fundamental importância que a busca por novos referenciais construtivos que visem à conservação de energia através da adequação climática das construções e o conforto térmico de seus usuários seja uma constante. (COSTA, 2011, p. 20).

Curcio (2011) exemplifica a preocupação com a introdução de referenciais construtivos que priorizam o conforto térmico desde a antiguidade na seguinte afirmação:

No transcurso da história da arquitetura podemos constatar esta preocupação em exemplos da arquitetura e do urbanismo grego e romano, e até mesmo na arquitetura vernacular das casas indígenas. Estes exemplos têm como princípio aproveitar as características do local, fazendo com que o espaço construído se adapte à topografia, à vegetação e ao clima, construindo espaços no qual o homem encontre conforto, no mais amplo sentido do termo (CURCIO, 2011, p.23).

Diante de tais aspectos é evidente que a inserção de novas tecnologias na construção civil deve funcionar como um sistema articulado, que alie produtividade,

conforto e sustentabilidade, adequando-se sempre as normas de desempenho existentes.

Em vários países o desempenho ambiental, particularmente o térmico de uma edificação, é um dos requisitos fundamentais para aprovação dos projetos pelas autoridades competentes, uma vez que o tipo de envolvente da mesma, que pode ter maior ou menor resistência aos ganhos ou perdas térmicas, influencia bastante no seu gasto energético, determinando assim o uso de condicionamento artificial (LAMBERTS, TRIANA, 2007). O desempenho térmico da edificação é influenciado por diversas variáveis, dentre elas: os tipos de materiais e cores empregadas; a existência ou não de materiais isolantes na edificação em paredes e cobertura; a orientação, tamanho, e tipo de vidro das aberturas; as cargas térmicas internas e principalmente, a adoção ou não de estratégias de projeto relacionadas ao clima.

Com relação a normas brasileiras para o desempenho térmico de edificações, tem-se a NBR 15220 (ABNT, 2005) – Desempenho Térmico de Edificações e a NBR 15575 (ABNT, 2013) – Edificações Habitacionais – Desempenho. Estas normas propõem tanto incentivar e balizar o desenvolvimento tecnológico, como orientar a avaliação da eficiência técnica e econômica das inovações tecnológicas.

Na construção civil, são evidentes os grandes avanços referentes à introdução e à difusão de tecnologias abrangendo materiais, componentes e pesquisas sobre novas técnicas construtivas. Apesar de não mudarem a base de todo o sistema construtivo, as inovações representam ganhos de produtividade, qualidade e confiabilidade. Os sistemas de vedação vertical como, os painéis de vedação pré-fabricados de concreto, os painéis metálicos e os painéis de Glassfibre Reinforced Cement (GRC) são exemplos da inserção dessas novas tecnologias no mercado da construção civil. (PEIXOTO, GOMES, 2006).

Dentre os sistemas construtivos que visam à racionalização da construção, o sistema de vedação formado por painéis produzidos com fibrocimento é uma tecnologia que está em processo de implantação no mercado da construção civil. Sendo assim, a investigação sobre o desempenho térmico desse material submetido ao contexto climático de Maceió-AL, é de fundamental importância para averiguar o comportamento e aplicabilidade do mesmo na construção civil.

As pesquisas sobre novas tecnologias que priorizam o desempenho térmico da edificação garantem as condições básicas de habitabilidade e conforto

principalmente em habitações de interesse social. Portanto, o estudo do desempenho térmico de painéis, como os produzidos com fibrocimento, pode contribuir para o enriquecimento/ampliação do conhecimento sobre alternativas e inovações tecnológicas na construção civil que priorizam o conforto ambiental e o desenvolvimento sustentável.

Objetivo geral

Analisar o desempenho térmico de um sistema de vedação produzido com painéis de fibrocimento, para aplicação em habitação de interesse social inserida no contexto climático de Maceió-AL.

Objetivos específicos

- Averiguar as **propriedades termofísicas** de amostras e painéis produzidos com fibrocimento;
- Comparar o **desempenho térmico** de painéis de vedação produzidos com fibrocimento com um sistema de uso corrente na construção civil;
- Avaliar as **condições térmicas internas** de uma edificação construída com os painéis, sob as condições climáticas de exposição de Maceió-AL.
- Prever as **condições térmicas de uma edificação** construída com painéis de fibrocimento, sob as condições climáticas de Maceió-AL, a partir de mudanças nas características construtivas do painel e do sistema de cobertura.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Desempenho Térmico

Segundo Batista, Lamberts (2010), o comportamento térmico é a resposta física (variação de temperatura e umidade do ar interno ou fluxo de calor transmitido através das vedações) que a edificação apresenta quando submetida às variáveis climáticas e as condições de uso dos ambientes, como por exemplo, o calor gerado por meio da presença de pessoas e equipamentos no interior das edificações.

Para se obter uma avaliação de desempenho térmico de uma edificação, é necessário confrontar os fatores descritos acima com parâmetros de referência. Barbosa, Lamberts (2002) definem a avaliação por desempenho como a avaliação que é feita verificando-se o cumprimento de limites estabelecidos para as características térmicas do ambiente.

Em uma edificação residencial, fatores como as condições de exposição à insolação e à ventilação e os ganhos de calor obtidos por meio das superfícies externas (paredes e coberturas) e das aberturas existentes (superfícies envidraçadas) influenciam o desempenho térmico de uma edificação. Deste modo, é função do projetista conhecer as propriedades térmicas dos elementos construtivos que serão inseridos na edificação, para que o mesmo apresente um desempenho satisfatório aos seus usuários.

É importante salientar que as condições de uso e ocupação do edifício são de fundamental relevância para o comportamento térmico do mesmo, tendo em vista que os usuários possuem, até certo ponto, o “poder” de interferência e manipulação dos dispositivos de controle de ventilação e insolação que influenciam nas perdas e nos ganhos térmicos da edificação.

Compreender o desempenho térmico de uma edificação como um conjunto de fatores no qual cada um possui uma função é de primordial importância para se alcançar o conforto térmico.

2.2 A normatização brasileira para desempenho térmico

A Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT - designa procedimentos, terminologias, simbologias e classificações relacionadas ao desempenho térmico, através das normas NBR 15220 (ABNT, 2005) – Desempenho Térmico de Edificações e NBR 15575 (ABNT, 2013) – Edificações Habitacionais –

Desempenho, com o intuito de estabelecer um padrão de qualidade para as edificações construídas.

De acordo a NBR 15220 (ABNT, 2005), os procedimentos para avaliar o desempenho térmico das edificações podem ser realizados tanto na fase de projeto, através de simulação computacional ou análise prescritiva, quanto após a construção, por meio de medições *in loco* de variáveis representativas do desempenho.

As metodologias de análise climática com vistas à obtenção de recomendações arquitetônicas são instrumentos importantes na fase de pré-projeto das edificações. Elas indicam ao arquiteto as estratégias bioclimáticas mais adequadas a serem adotadas nos edifícios, de acordo com o programa de atividades do mesmo e em função da caracterização climática do sítio (GONÇALVES et al, 2003, p.242).

2.2.1 NBR 15220

A NBR 15220 (ABNT, 2005) trata do desempenho térmico de edificações e está dividida em cinco partes:

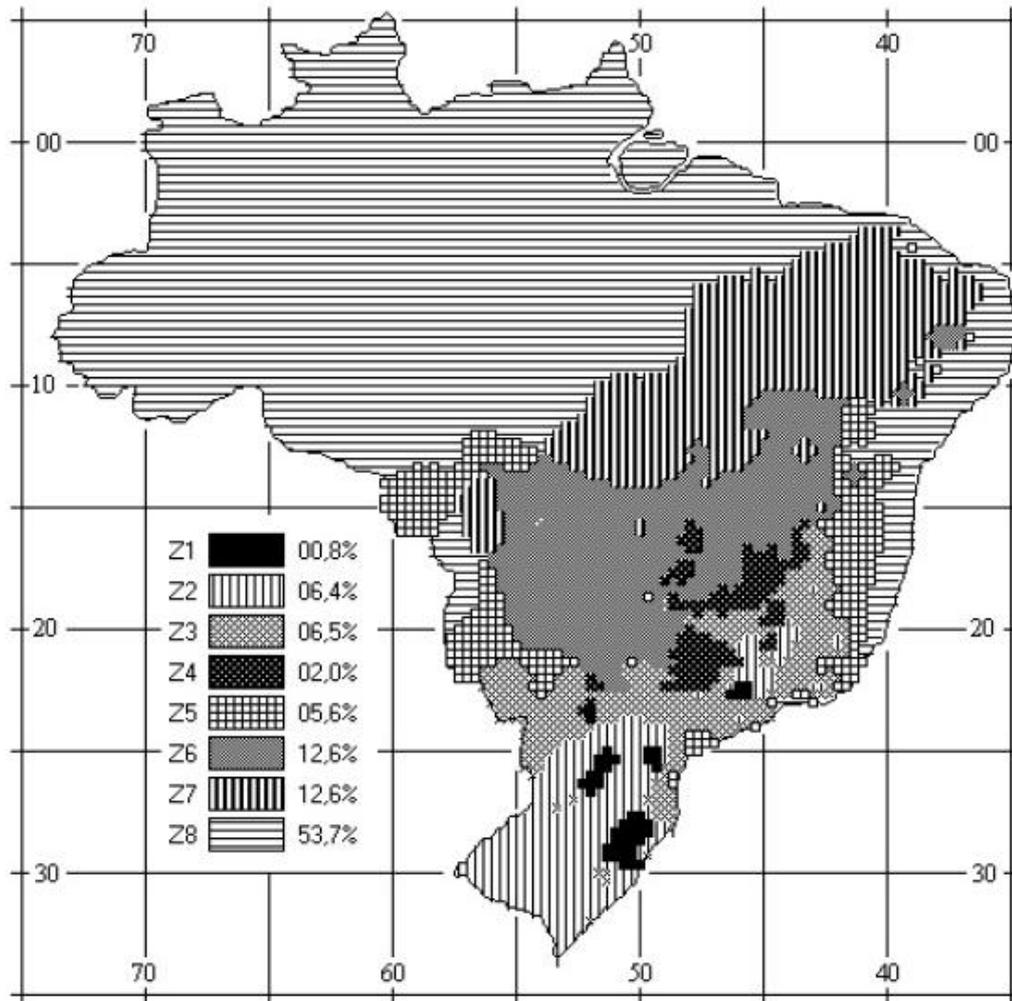
- Parte 1: Definições, símbolos e unidades;
- Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;
- Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares 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.

Com base na carta bioclimática de Givoni³ (GIVONI, 1992) e nas planilhas de Mahoney⁴ (KOENIGSBERGER et al, 1973), a NBR 15220-3 (ABNT, 2005) divide o território brasileiro em oito zonas homogêneas com relação ao clima, ao passo que recomenda estratégias bioclimáticas aplicáveis como medidas preventivas, ou seja, na etapa de projeto (figura 01).

³ Construída sobre um diagrama psicrométrico que relaciona a temperatura do ar e a umidade relativa, especifica uma zona de conforto e demais zonas com suas estratégias correspondentes.

⁴ Sistema de ponderação no qual os limites almejavéis de temperatura são distintos para os períodos diurno e noturno de acordo com a média mensal da umidade relativa e média anual da temperatura do ar exterior.

Figura 01 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro.



Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005)

De acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005) a cidade de Maceió-AL está localizada na Zona Bioclimática 8.

As diretrizes construtivas e o detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo da NBR 15220 (ABNT, 2005) são fundamentadas a partir dos seguintes parâmetros:

- Tamanho das aberturas para ventilação (expressa como percentual de área de piso);
- Proteção das aberturas;
- Vedações externas (tipo de parede externa e tipo de cobertura);
- Estratégias de condicionamento térmico passivo.

Quanto às propriedades térmicas dos elementos de vedação externa (paredes e coberturas), a NBR 15220 apresenta as seguintes propriedades: transmitância térmica, atraso térmico e fator solar⁵.

A norma estabelece recomendações que buscam aperfeiçoar o comportamento térmico dos edifícios, com base no zoneamento bioclimático proposto, através da adequação climática do mesmo, proporcionando a verificação da edificação quanto aos padrões de desempenho térmico ainda na fase de projeto. Ela apresenta ainda métodos de cálculos da resistência térmica e da condutividade térmica em regime permanente (parte 4) e métodos de utilização de técnicas fluximétricas para medir a resistência térmica em regime estacionário (parte 5).

2.2.2 NBR 15575

A NBR 15575 (ABNT, 2013) refere-se às condições de desempenho mínimo obrigatório de sistemas que compõem edifícios habitacionais e traduzem as exigências dos usuários em requisitos e critérios, complementando as normas prescritivas. A norma está dividida em seis partes:

- Parte 1: Requisitos gerais;
- Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais;
- Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos internos;
- Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais externas e internas;
- Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas;
- Parte 6: Requisitos para o sistema hidrossanitário.

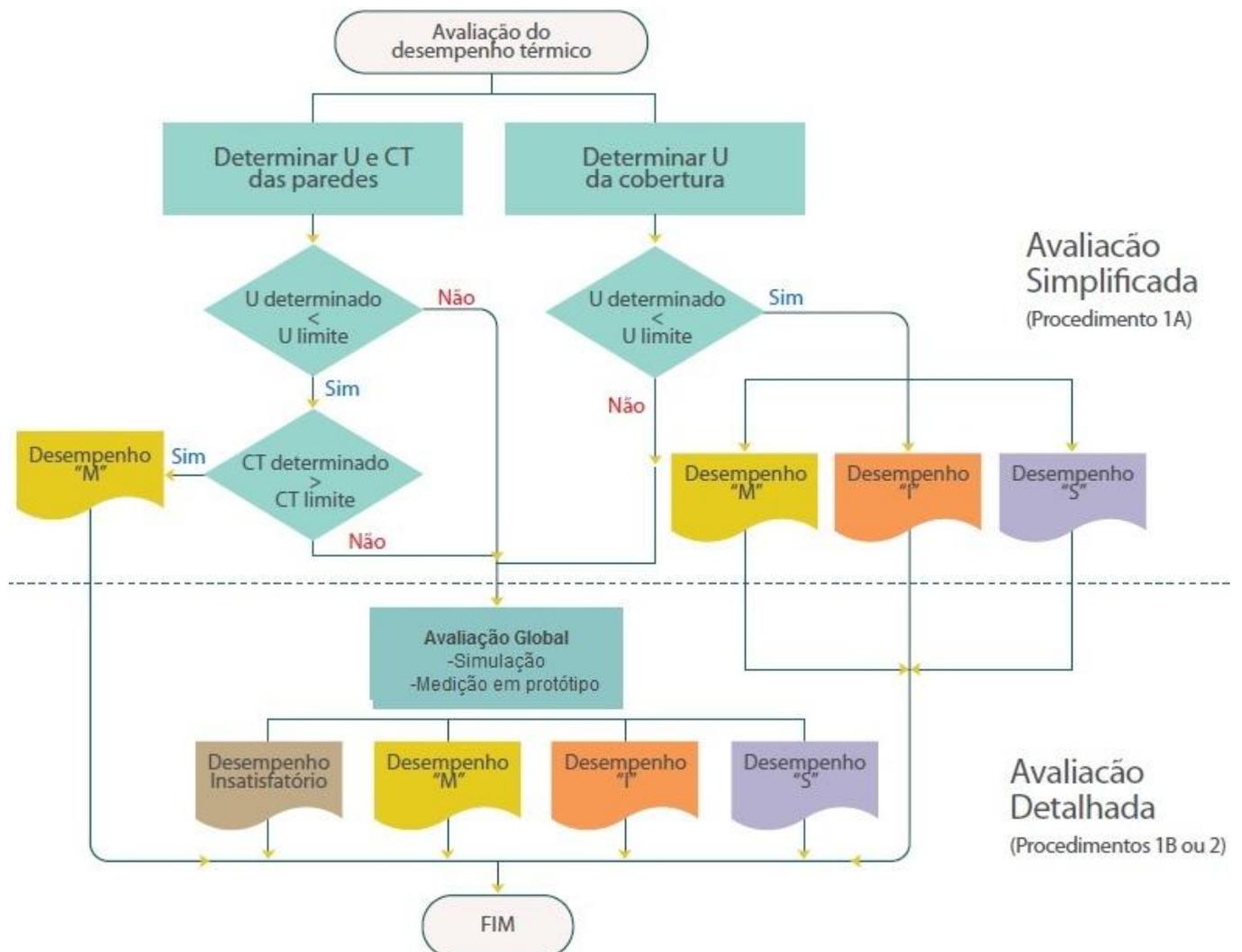
⁵ - Transmitância térmica (U): é uma propriedade dos componentes construtivos relacionada à permissão da passagem de energia, medida em W/m^2K . Está relacionada à espessura do componente e à condutividade térmica dos seus materiais constituintes, e representa sua capacidade de conduzir maior ou menor quantidade de energia por unidade de área e de diferença de temperatura.

- Atraso térmico (ϕ): indica o tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo. Por exemplo: o tempo transcorrido entre o pico de temperatura máxima do ar externo e a temperatura máxima do ar em um ambiente interno.

- Fator solar (FS_o): em componentes opacos, representa o quociente da taxa de radiação solar transmitida através do componente pela taxa da radiação solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo.

A NBR 15575-1 (ABNT, 2013) estabelece um procedimento normativo (prescritivo) e dois procedimentos informativos (simulação e medição) para a avaliação da adequação do desempenho térmico de habitações, conforme o fluxograma apresentado na figura 02.

Figura 02: Métodos alternativos de avaliação do desempenho térmico.



Fonte: IPT, 2013.

O critério de avaliação para o desempenho térmico é baseado na análise dos valores máximos de temperatura interna no verão e nos valores mínimos de temperatura interna no inverno. A classificação dos níveis de desempenho, resultantes desses critérios, é designada pela norma em três categorias:

- Nível M (mínimo)
- Nível I (intermediário)
- Nível S (superior)

Para a avaliação do desempenho térmico da edificação por medição *in loco*, a NBR 15575-1 (ABNT, 2013) considera os seguintes requisitos:

- As medições *in loco* devem ser feitas em edificações em escala real (1:1);
- Deve-se medir a temperatura de bulbo seco do ar no centro dos recintos dormitórios e salas, a 1,20m do piso com equipamentos que seguem as especificações da ISO 7726;
- As medições devem ser feitas em um dia considerado típico de projeto, no verão ou no inverno - que são determinados em função das temperaturas máximas e mínimas típicas de cada localidade, estas temperaturas são definidos pela norma baseadas nas Normais Climatológicas 1961-1990 (BRASIL, 1992) de acordo com a tabela 01;
- Recomenda-se trabalhar com uma sequência de três dias e analisar os dados do terceiro dia, a fim de garantir que a edificação entrou em regime permanente⁶.

Para a avaliação do desempenho térmico por meio de simulação computacional a NBR 15575 (ABNT, 2013) sugere a utilização do programa computacional *EnergyPlus*. Outros programas de simulação podem ser utilizados, desde que sejam validados pela ASHRAE Standard 140 e permitam a determinação do comportamento térmico de edificações sob condições dinâmicas de exposição ao clima, sendo capazes de reproduzir os efeitos de inércia térmica.

⁶ Batista, Lamberts (2010) consideram regime permanente como a situação de equilíbrio que uma edificação atinge quando as condições térmicas das superfícies internas (temperatura e fluxo do ar) mantêm os mesmos padrões de comportamento após uma sequência de dias com características semelhantes quanto à variação da temperatura, umidade e insolação.

Tabela 01: Temperaturas típicas das capitais Brasileiras (Normais Climatológicas 1961-1990)^a.

UF	Cidade	Latitude °	Longitude °	Altitude m	Temperatura mínima ^b °C	Temperatura máxima ^c °C
AC	Rio Branco	9.97 S	67.8 W	161	18.5	32.8
AL	Maceió	9.67 S	35.7 W	65	20.2	30.4
AM	Manaus	3.13 S	60.02 W	72	22.7	32.9
AP	Macapá	0.03 N	51.05 W	14	22.9	32.6
BA	Salvador	13.02 S	38.52 W	51	21.3	30.0
CE	Fortaleza	3.77 S	38.6 W	26	21.8	30.7
DF	Brasília	15.78 S	47.93 W	1160	12.9	28.3
ES	Vitória	20.32 S	40.33 W	36	18.8	31.6
GO	Goiânia	16.67 S	49.25 W	741	13.2	31.9
MA	São Luiz	2.53 S	44.3 W	51	22.3	31.4
MG	Belo Horizonte	19.93 S	43.93 W	850	13.1	28.8
MS	Campo Grande	20.45 S	54.62 W	530	14.0	30.6
MT	Cuiabá	15.55 S	56.12 W	151	16.6	34.1
PA	Belém	1.45 S	48.47 W	10	21.6	32.3
PB	João Pessoa	7.1 S	34.87 W	7	18.9	31.8
PE	Recife	8.05 S	34.92 W	7	20.6	30.2
PI	Teresina	5.08 S	42.82 W	74	20.4	36.4
PR	Curitiba	25.42 S	49.27 W	924	7.8	25.8
RJ	Rio de Janeiro	22.92 S	43.17 W	5	18.4	30.2
RN	Natal	5.77 S	35.2 W	18	20.3	30.3
RO	Porto Velho	8.77 S	63.08 W	95	18.3	32.9
RS	Porto Alegre	30.02 S	51.22 W	47	10.7	30.2
SC	Florianópolis	27.58 S	48.57 W	2	13.3	28.4
SE	Aracajú	10.92 S	37.05 W	5	21.6	29.8
SP	São Paulo	23.5 S	46.62 W	792	11.7	28.0
TO	Palmas ^d	10.21 S	48.36 W	330	18.0	35.6

^a Esta Tabela é evolutiva e deve ser constantemente atualizada pelas informações divulgadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

^b Menor temperatura média das mínimas mensais.

^c Maior temperatura média das máximas mensais.

^d Normais de Porto Nacional, TO (cidade mais próxima com normais registradas).

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013).

A ABNT 15575-4 (ABNT, 2013) apresenta requisitos e critérios para verificação dos níveis mínimos de desempenho térmico de vedações verticais

externas conforme as definições da NBR 15220-1 (ABNT, 2005) e NBR 15220-3 (ABNT, 2005). A norma estabelece ainda alguns requisitos como, transmitância térmica de paredes externas, capacidade térmica de paredes externas e aberturas para ventilação recomendados para um nível de desempenho mínimo de aceitação - nível M - de acordo com as tabelas 02 e 03 apresentadas a seguir:

Tabela 02: Transmitância térmica de paredes externas.

Transmitância Térmica U		
W/m ² .K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
U ≤ 2,5	α ^a ≤ 0,6	α ^a > 0,6
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5

^a α é absorvância à radiação solar da superfície externa da parede.

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013)

Tabela 03: Capacidade térmica de paredes externas.

Capacidade térmica (CT)	
kJ / m ² .K	
Zona 8	Zonas 1,2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem exigência	≥ 130

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013)

De acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013) a edificação deve apresentar condições térmicas no interior do edifício habitacional, melhores ou iguais às do ambiente externo, à sombra, para o dia típico de projeto de verão. O valor máximo diário da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, como salas e dormitórios, sem a presença de fontes internas de calor (ocupantes, lâmpadas etc), deve ser sempre menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior, para que a edificação possa atingir o nível de desempenho M, denominado mínimo (Tabela 04).

Tabela 04: Critério de avaliação de desempenho térmico para condição de verão.

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$
<p>$T_{i,máx.}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius. $T_{e,máx.}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius. NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.</p>		

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013)

2.3 Transferência de Calor em envoltórias.

O uso de soluções construtivas que apresentam baixa qualidade energética e condições inadequadas de desempenho térmico é uma prática comum em grande parte das habitações de interesse social do Brasil. Estas, frequentemente adotam soluções arquitetônicas que visam à minimização de custos e desconsideram o conforto ambiental. As habitações provenientes da autoconstrução, produzidas pela população de baixa renda, são exemplos desse tipo de ocorrência (DIGIACOMO, 2004).

Para a concepção de edificações termicamente confortáveis deve-se considerar além das estratégias bioclimáticas e do uso de materiais eficientes, a transferência de calor na envoltória, pois as trocas de calor determinam o balanço térmico e influenciam a variação de temperatura no interior das edificações (BATISTA, LAMBERTS, GÜTHS, 2011). Quanto à eficiência energética relacionada à transferência de calor, Specht (2010) destaca:

O projeto de edificações energeticamente eficientes necessita de conhecimentos sobre a transferência de calor do ambiente externo para o interior das edificações, a fim de criar soluções que associem diferentes materiais e dimensões de camadas às condições desejadas de conforto térmico (SPECHT et al, 2010, p.8).

O desempenho térmico das edificações é caracterizado pela condução de calor através dos componentes opacos da envoltória, esta, pode ser descrita termicamente a partir dos parâmetros de condutividade térmica e capacidade térmica volumétrica.

Ordenes, Lamberts, Güths (2008) ressaltam a importância do estudo da transferência de calor em envoltórias como parte fundamental do processo de

projeto de edificações, como também para avaliação de desempenho térmico de um edifício existente:

O conhecimento dos processos físicos que participam na envolvente permite avaliar a resposta da edificação frente às mudanças meteorológicas (temperatura, radiação solar, vento, etc.) na etapa de projeto e escolher as alternativas e soluções técnicas que garantam um desempenho térmico adequado à localidade em que o edifício será construído. O estudo da transferência de calor na envolvente também representa uma ferramenta importante para diagnosticar o desempenho de uma edificação existente (Ordenes, Lamberts, Gúths, 2008, p.2).

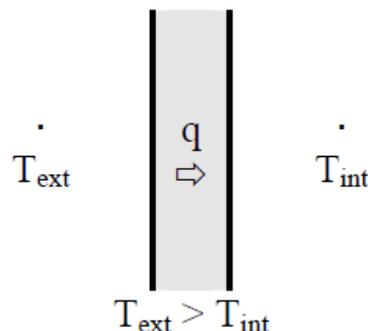
Na região do Nordeste brasileiro o fluxo de calor através dos fechamentos opacos pode atingir até 560 W/m^2 devido a elevada intensidade de radiação solar (OLIVEIRA apud BEZERRA, 2003, p.1). Bezerra (2003) atenta para modificações na concepção dos projetos e substituição dos materiais convencionais utilizados na construção civil, com o objetivo de diminuir a carga térmica solar que é transmitida para o interior das edificações (que gera o desconforto térmico dos usuários e reflete diretamente no consumo de energia provocado pelo uso de sistemas de climatização).

Portanto, a verificação das propriedades termofísicas da envoltória deve ser o primeiro passo a ser tomado quanto à escolha do material que irá compor a edificação. Este definirá o bom funcionamento térmico da mesma e proporcionará consequentemente conforto térmico aos seus usuários.

2.3.1 Propriedades Termofísicas

A transferência de calor entre o meio e o ambiente construído ocorre através dos mecanismos de radiação e convecção. No caso das envoltórias, o sentido do fluxo de calor ocorre em função da diferença de temperatura externa e interna.

Figura 03: Transferência de calor em uma parede.



O fluxo de calor através dos fechamentos depende, entre outras propriedades, da espessura da parede (L), da área de troca (A), da capacidade calorífica do material (C_p), da massa específica (ρ) e da condutividade térmica (λ), sendo matematicamente definido pela seguinte relação:

$$Q = \lambda.A.(\Delta T/\Delta L) \quad (1)$$

Por sua vez, cada propriedade pode variar em função de outras propriedades básicas. A condutividade térmica, por exemplo, depende do tipo de material, da massa específica, do número de vazios (porosidade), da homogeneidade, da isotropia molecular e da temperatura, dentre outras. Sua determinação é um processo elaborado, que exige não apenas instrumentação complexa, mas, principalmente, habilidade e paciência do operador (FEIJÓ et al, 2013).

Segundo a NBR 15220 (ABNT, 2005) a condutividade térmica é a propriedade física de um material homogêneo e isótropo, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de 1 W/m^2 , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro quadrado.

A partir da condutividade térmica os materiais podem ser classificados em bons (valores elevados de λ) ou maus (valores baixos de λ) condutores de calor. Considere-se um elemento construtivo como uma parede, por exemplo; quando uma de suas faces é submetida a uma fonte de calor, quanto maior o valor de λ , maior será o fluxo de energia através da parede e, conseqüentemente, maior será a temperatura da face oposta. A tabela 05 a seguir exemplifica a condutividade térmica de alguns materiais:

Tabela 05: Condutividade térmica de alguns materiais.

Material	Condutividade térmica (W/m.K)
Concreto normal	1,75
Madeira com densidade de massa aparente elevada	0,29
Vidro	1,00
Aço, ferro fundido	55
Alumínio	230
Cobre	380
Zinco	112

Fonte: NBR 1220 (ABNT, 2005)

Outras variáveis de interesse da Arquitetura e diretamente relacionadas à condutividade térmica são transmitância, resistência e difusividade térmica. A condutividade térmica tem influência direta no cálculo da difusividade térmica (que é influenciada pelo grau de porosidade do material – quanto menor a difusividade térmica, maior a porosidade do material). Deste modo, a difusividade térmica está relacionada à propagação de calor em um meio, no qual a variação de temperatura ocorre em função do tempo. Esta é representada pelo quociente da condutividade térmica (λ) pela sua capacidade de armazenar energia térmica (c_p). Portanto, quanto maior a difusividade térmica de um material mais rápida é a difusão de calor no meio.

Matematicamente, a difusividade térmica de um material é expresso por:

$$\alpha = \frac{\lambda}{C_p} \quad \text{Sendo } C_p = \rho \cdot C \quad (2)$$

α – difusividade térmica (m^2/s)

λ – condutividade térmica ($W/m.K$)

C_p – capacidade calorífica volumétrica (kg/m^3)

ρ – massa específica ($J/kg.K$)

Quanto à facilidade que determinado fluxo de calor que ultrapassa em certa direção tem-se a resistência térmica como determinante deste procedimento. Esta por sua vez é matematicamente expressa pela equação 3:

$$R_t = \frac{L}{\lambda \cdot A} \quad (3)$$

Sendo:

R_t – resistência térmica (K/W)

L – espessura da parede (m)

λ – condutividade térmica ($W/m.K$)

A – área perpendicular ao fluxo de calor (m^2)

2.4 Avaliação de Desempenho Térmico: estudos recentes.

Diversas pesquisas incorporando novos materiais têm sido realizadas com o objetivo aprimorar a qualidade da construção civil no Brasil. Nesse contexto, as avaliações de desempenho térmico apresentam-se como instrumento regulamentador que qualificam esses materiais e proporcionam a elaboração de projetos mais eficientes. Algumas destas pesquisas serão citadas a seguir.

Bezerra (2003) analisou de forma quantitativa o desempenho térmico de paredes construídas com blocos de concreto com poliestireno expandido (EPS) adicionado em sua composição. Para a avaliação de desempenho térmico foi realizada uma análise comparativa com duas paredes construídas com bloco de concreto (distintas pela proporção de EPS/areia) uma parede com tijolos cerâmicos de oito furos e uma com blocos de cimento vazados, no qual foram realizados ensaios de resistência à compressão e ensaios de determinação das propriedades termofísicas dos blocos de concreto. Os resultados afirmaram que o EPS agregado em elementos construtivos influencia a taxa de transferência de calor em função da variação de densidade, o que também interfere nas demais propriedades térmicas e mecânicas do material. Comprovou-se também as propriedades isolantes térmicas das paredes de concreto leve e o melhor desempenho térmico destas.

Em Campinas, São Paulo, Granja; Labaki (2004) investigaram comparativamente duas paredes homogenias (concreto leve) com orientação leste e oeste e com desempenho idêntico em regime permanente, através da averiguação térmica e energética em regime periódico. Foram elaborados cálculos para análise da inércia térmica a partir da equação de condução de calor proposta por Fourier e cálculo dos coeficientes utilizando o método da análise harmônica em um período de 24 horas. Os autores atentam para o fato de que a transmitância térmica deve ser o parâmetro mínimo averiguado pelos projetistas para a aplicação de determinado material em envoltórias de edificações. Também comprovaram que duas paredes de comportamento idêntico em regime permanente podem ter comportamentos distintos quando analisadas em regime periódico devido aos diferentes padrões de desempenho da onda térmica, o que pode ocasionar em desconforto e ineficiência energética.

Jahnje (2006) realizou uma análise do desempenho térmico de painéis de vedação e mantas para subcobertura a partir da reutilização de embalagem LV (Longa Vida) em Florianópolis, Santa Catarina. A análise térmica foi elaborada com

o emprego do método fluximétrico (que utiliza regime estacionário com corpos de prova para estimar a resistência térmica e a condutividade térmica). O desempenho térmico foi verificado através do cálculo da transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar utilizando os métodos de cálculo da NBR 15220-3.

Para o painel de vedação foi constatado que o material composto por polietileno e alumínio apresenta uma condutividade térmica relativamente elevada, porém, o mesmo mostrou-se adequado se comparado com outros tipos de fechamento (alvenaria tradicional e gesso acartonado, por exemplo), pois apesar da grande quantidade de alumínio polido, o polietileno aplicado com a função de tornar o painel resistente e impermeável faz com que a barreira radiante perca suas propriedades, tornando-se uma superfície opaca com menor condutividade térmica. Para a manta isolante como subcobertura concluiu-se que os resultados da eficiência da manta foram satisfatórios. Outro ponto relevante foi aumento de 73 % para 85 % da eficiência da manta quando se retirou o filme de polietileno que recobre a película de alumínio das embalagens.

Em Londrina, Paraná, Giglio; Barbosa (2006) averiguaram o comportamento térmico de painéis de vedação em madeira empregando diferentes métodos de avaliação: cálculos das propriedades térmicas (estabelecidos na NBR 15220), análise do desempenho térmico dos painéis de vedação utilizando os procedimentos da NBR 15575 (quando a norma ainda estava em projeto), método das horas de desconforto e simulação computacional através da ferramenta de simulação COMFIE. Após a compatibilidade dos resultados das diferentes metodologias aplicadas foram constatadas divergências entre os resultados obtidos. Portanto, os autores recomendaram para futuras investigações, uma reavaliação do parâmetro de análise da propriedade de atraso térmico da NBR 15220 e do procedimento normativo para avaliação em condições de verão do projeto da norma.

Menezes (2006) realizou uma avaliação em unidades habitacionais de Passo Fundo, no Rio Grande do Sul, por meio de medições *in loco* e simulação computacional utilizando o programa computacional Energy Plus. O autor advertiu para a baixa qualidade do projeto, dos materiais e da mão de obra utilizada. Além disto, foi verificado a inadequabilidade dos espaços, necessários para o conforto mínimo do usuário e a ausência de adaptações básicas em relação às condições geográficas e topográficas de cada localidade em que o projeto estava inserido.

Apesar destas inconformidades, os resultados apontaram que a maioria dos parâmetros das habitações verificadas estava em consonância com a NBR 15220 (ABNT, 2005).

Ataíde; Souza (2009) realizaram uma avaliação de desempenho térmico no edifício onde funciona a sede da prefeitura municipal de Mariana-MG. A edificação constituída em aço apresentava problemas de conforto térmico principalmente no verão. Foi realizada uma simulação numérica através do programa Energy Plus e a partir dos resultados obtidos foram propostas estratégias arquitetônicas como colocação de brises nas fachadas leste e oeste e *sheds* na cobertura, que proporcionam uma melhoria no desempenho térmico em torno de 25 % a 28 % respectivamente.

Ferreira (2009) analisou as propriedades térmicas e mecânicas de compósitos de argamassa e resíduo de borracha proveniente de indústria de recauchutagem em Natal, Rio Grande do Norte. Os ensaios foram realizados com corpos de prova nos estados fresco e endurecido. Para moldagem do mesmo foi substituído parte do agregado da argamassa de cimento Portland por resíduo de borracha sem tratamento nas proporções de 10 %, 20 % e 30 % de massa em relação ao cimento. Para as propriedades térmicas optou-se ainda por analisar mais duas porcentagens (40 % e 67,5 %) substituindo o agregado, na qual foram realizadas medições das propriedades termofísicas através do aparelho medidor de propriedades termofísicas QuickLine 30⁷ acoplado a uma sonda cilíndrica apropriada para superfícies planas. Os resultados evidenciaram que o uso de argamassas com adição de borracha em substituição ao agregado podem desempenhar razoável resistência mecânica e baixa condutividade térmica, apresentando, portanto, bom isolamento térmico. Pois o aumento da quantidade de borracha resulta numa maior quantidade de ar nos compósitos, como o ar é um péssimo condutor de calor ele proporciona a redução de peso e conseqüentemente reduz a condutividade térmica.

⁷ Equipamento multifuncional utilizado para mensurar as propriedades termofísicas de vários tipos de materiais, que utiliza como base de cálculo a norma ASTM (American Society for Testing and Materials) e possui percentual de erro de cerca de 10% (de acordo com o fabricante).

Em Florianópolis, Lamberts et al (2010) avaliaram o desempenho térmico de uma edificação construída a partir da incorporação de princípios da arquitetura bioclimática (*Casa Eficiente*⁸) através de monitoramento com diversos sensores instalados nos ambientes internos, posicionados junto às paredes, coberturas e piso além de sensores portáteis instalados no centro dos ambientes da edificação para registro da temperatura e umidade. Também foram efetuadas medições de velocidade do ar utilizando-se anemômetros portáteis e registros termográficos. Foram estabelecidas rotinas de manipulação das esquadrias, para verificar o impacto de cada padrão de uso no comportamento térmico dos ambientes.

Os resultados comprovaram que a combinação entre inércia térmica, sombreamento e ventilação nos períodos adequados acarretou na manutenção de temperaturas internas apropriadas ao conforto dos usuários. Porém, o uso inadequado da edificação quanto à ausência de proteção solar e admissão da ventilação em períodos quentes do verão gerou efeitos negativos. Foi notificado ainda a necessidade de algumas adaptações quanto ao posicionamento das esquadrias, a fim de aprimorar a ventilação da edificação. Com relação à ventilação mecânica noturna e o emprego do telhado vegetado, estes demonstraram-se como alternativas que apresentam baixo custo de manutenção e causam impactos significativos no desempenho térmico da edificação.

Ordenes, Guths e Lamberts (2010) designaram um método para estimar propriedades termofísicas (condutividade térmica e capacidade térmica) em campo da envoltória de uma edificação em Florianópolis, Santa Catarina, através de um teste não destrutivo que utiliza um equipamento simplificado (formado por termopares, tradutores de fluxo de calor, sistema de aquisição de dados e um microcomputador) e informações contidas nas oscilações climáticas. Os dados adquiridos foram tratados com uma técnica de processamento de sinal e a estimativa desses dados foi executada com um modelo de transferência de calor e umidade integrados. Os resultados demonstraram a importância da fonte de calor na

⁸Localizada em Florianópolis-SC, a Casa Eficiente é resultado de uma parceria estabelecida entre a ELETROSUL, ELETROBRAS/PROCEL Edifica e a Universidade Federal de Santa Catarina, através do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. É considerada uma vitrine de tecnologias de ponta, onde estratégias de adequação ambiental foram associadas a medidas de eficiência energética visando à obtenção do conforto térmico, redução no consumo de energia e menor impacto ambiental. Fonte:< <http://www.eletrosul.gov.br/casaeficiente>>. Acessado em: 08 out. 2012.

aplicação dessa metodologia, pois durante as medições, nos dias de céu nublado as informações fornecidas não foram suficientes para identificar as propriedades termofísicas. Portanto, esse método deve ser compreendido como um complemento de outros procedimentos destinados a estimar estas propriedades, e não deve ser visto com um método que substitui as análises laboratoriais.

Specht et al (2010) realizaram análise da transferência de calor em paredes de tijolos maciço compostas por diversos tipos e disposições de materiais. A pesquisa foi executada em duas etapas: na primeira foi obtida a variação de temperatura nas paredes utilizando um aparato experimental (composto por uma câmara térmica, paredes e sistema de coleta de dados) na segunda, para resolver o problema da transferência de calor foram calculadas a difusividade térmica e o fluxo de calor. Também foi elaborada uma análise termoeconômica das paredes, na qual foi calculado o custo total por metro quadrado de cada alternativa de acordo com o isolamento térmico das mesmas.

Os resultados comprovaram a validade dos procedimentos utilizados para a determinação da difusividade térmica dos materiais. Também foi corroborada a importância do fluxo e das quantidades de calor para a análise de desempenho térmico (visando melhor utilização dos materiais e minimização do gasto de energia com refrigeração e aquecimento de ambientes). Foi verificado que as edificações que utilizam soluções construtivas de baixo investimento inicial, a longo prazo, consomem muito mais energia do que edificações construídas com princípios de eficiência energética.

Em Natal, Rio Grande do Norte, Jardim (2011) realizou um estudo comparativo do desempenho térmico de diferentes tipos de telhas (material reciclado, fibra e betume, fibrocimento e cerâmica) através da análise das propriedades termofísicas e absorvância dos materiais (utilizando um medidor de propriedades termofísicas e um espectrômetro portátil) e análise do desempenho térmico (através do uso de câmeras térmicas aquecidas por bancos de lâmpadas incandescentes). Foi realizado ainda o monitoramento em uma edificação coberta com telha de material reciclado, objetivando avaliar o desempenho térmico em situação real. A partir dos resultados foi possível notificar que o uso de materiais provenientes da reciclagem de resíduos deve ser visto com cautela quanto ao desempenho térmico devido às especificidades climáticas de cada região. Também foi verificado que materiais compósitos carregam as características dos materiais

originais e conseqüentemente reflete no desempenho térmico dos mesmos, portanto, a alta condutividade térmica registrada na telha de material reciclado foi resultado da presença de alumínio na composição da mesma.

Rocha et al. (2013) investigaram o desempenho térmico e mecânico de um bloco intertravado composto por resíduos de EVA (etileno acetato de vinila) advindos de uma indústria de calçados do estado da Paraíba. Também foi verificado o aspecto de construtibilidade dos blocos através de simulação por desenho em habitação social. Foram realizados testes de produção dos blocos e em seguida a avaliação do desempenho mecânico nos blocos isolados em paredes compostas pelos mesmos por meio de ensaios de resistência à compressão. Para a análise do desempenho térmico, foram elaborados miniparedes com 1 m² de área sem revestimento, nos quais se compararam vários tipos de dosagem de blocos EVA e tijolo cerâmico, onde foi medido a variação de temperatura dos mesmos através de uma câmara térmica composta por dez termopares. Também foram realizados cálculos dos parâmetros térmicos baseados na NBR 155220-2 (ABNT, 2005).

O bloco de EVA intertravado mostrou-se adequado e compatível ao processo de execução das alvenarias. Em termos de segurança estrutural o bloco atende ao parâmetro de resistência mínima de 1,2 MPa. Com relação ao desempenho térmico o bloco que possui 80% de EVA em sua composição apresentou maior capacidade térmica (202,25 KJ/m².K) e menor condutividade térmica (0,66 W/mK) proporcionando melhor regulação térmica entre os blocos ensaiados (contendo resíduos de EVA).

Os parâmetros analisados nos trabalhos expostos acima foram de fundamental relevância para a elaboração desta pesquisa, pois pautaram variados procedimentos para avaliação do desempenho térmico de diversos tipos de materiais possibilitando a ponderação de diferentes métodos que podem ser aplicados de acordo com as necessidades de cada pesquisa. Na tabela 06 mostra-se a síntese dos trabalhos estudados.

Tabela 06: Síntese de estudos recentes – Desempenho Térmico.

LOCAL	ABORDAGEM	AUTOR
Natal-RN	Desempenho térmico, EPS,	Bezerra (2003)

sistema construtivo alternativo		
Campinas-SP	Inércia térmica, paredes, temperatura sol-ar, regime periódico	Granja; Labaki (2004)
Florianópolis-SC	Sustentabilidade, embalagens LV, painel de vedação, subcobertura	Jahnje (2006)
Londrina-PR	Desempenho térmico, painéis de madeira, conforto térmico, normas	Giglio; Barbosa (2006)
Passo Fundo-RS	Desempenho térmico, conforto térmico, habitações sociais, habitação de interesse social	Menezes (2006)
Mariana-MG	Desempenho térmico, simulação numérica	Ataíde; Souza (2009)
Natal-RN	Propriedades, compósito, argamassa, borracha, reciclagem	Ferreira (2009)
Florianópolis-SC	Desempenho térmico, eficiência energética, monitoramento	Lamberts et al (2010)
Florianópolis-SC	Ensaio não destrutivo, estimativa de propriedades termofísicas, modelo de transferência de calor e umidade	Ordenes, Guths e Lamberts (2010)
Rio Grande do Sul	Transferência de calor, paredes, modelagem matemática, eficiência energética	Specht et al (2010)
Natal-RN	Desempenho térmico, coberturas, telhas	Jardim (2011)
Paraíba	Resíduo EVA, blocos EVAi, alvenaria intertravada, desempenho	Rocha et al (2013)

2.5 O uso de painéis de vedação na construção civil.

O notável crescimento da indústria da construção civil em todo o mundo induz à busca por estratégias de modernização do setor, que visam qualidade, produtividade e racionalização construtiva. O emprego de sistemas pré-fabricados, capazes de maximizar o potencial de racionalização embutido nos processos construtivos, aperfeiçoa a produtividade da obra e evita o desperdício comum à

alvenaria tradicional (sistema construtivo usualmente utilizado nas edificações brasileiras).

Os painéis de concreto foram introduzidos no mercado internacional nos anos 1950, impulsionados pela recuperação do pós-guerra. Nos últimos anos, os painéis de concreto foram revitalizados na forma dos chamados *painéis de concreto arquitetônico*, que são vedações pesadas com densidade superficial maior que 100 kg/m^3 que podem ser planos como também pode receber nervuras para aumentar suas dimensões sem o acréscimo de espessura ou armadura. As vantagens destes painéis estão relacionadas à resistência ao fogo, durabilidade, inércia térmica, isolamento acústico e boa relação resistência/peso (MANUAL DA CONSTRUÇÃO EM AÇO, S/D). Nas imagens a seguir (figura 04) ilustram aplicações de painéis de concreto na arquitetura.

Figura 04: Aplicação de painéis de concreto. (a) Republic Works Administrative Offices, Charleston, South Carolina. (b) Posicionamento de painel utilizando escoras provisórias.



(a)

Fonte: PCI, 1989.

(b)

Fonte: Medeiros, 1996.

A tendência na indústria da construção civil de utilização de materiais reforçados com fibras possibilita a produção de componentes mais leves, com elevado desempenho mecânico e um bom desempenho térmico, como por exemplo, os painéis de GRC (Glassfibre Reinforced Ciment) que são formados por compósitos constituídos por uma matriz cimentícia reforçado com fibras de vidro.

Apesar da diversidade de aplicações os painéis de GRC são conhecidos principalmente como painéis de vedação e revestimento de fachadas. Estes permitem, por exemplo, a reprodução do desenho, cor e textura de edificações que

estão passando por restaurações, como também a redução do tempo na execução das fachadas (MANUAL DA CONSTRUÇÃO EM AÇO, S/D). Barth; Vefago (2008) consideram que os painéis de GRC são alternativas para a produção de fachadas com elevado desempenho construtivo e compositivo. Na figura 05 ilustram-se fachadas reproduzidas com painéis de GRC.

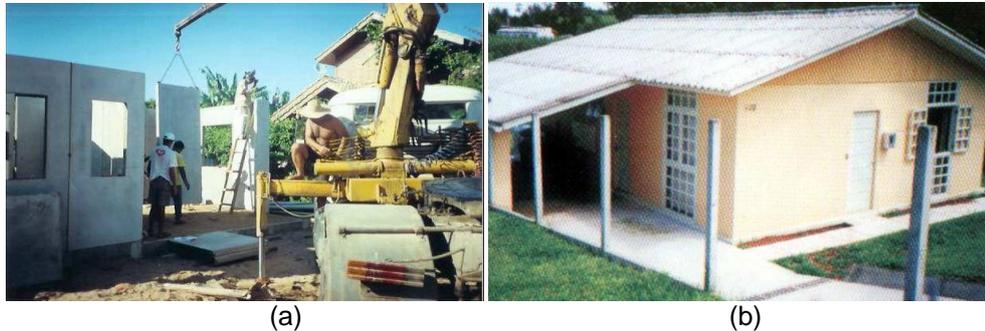
Figura 05: Fachadas reproduzidas com painéis GRC. (a) Faculdade de Odontologia de Ulbra – Canoas. (b) Novas torres da Catedral da Sé, São Paulo.



Fonte: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/08.092/178>> Acessado em: 24 out. 2012.

O sistema construtivo formado por painéis pré-fabricados com blocos cerâmicos reúne a tecnologia dos painéis pré-fabricados com os materiais convencionais utilizados na construção civil. Este é composto por painéis pré-moldados de blocos cerâmicos furados, reforçado com armadura de aço e revestidos com argamassa. A produção dos painéis é feita utilizando-se fôrmas metálicas, no qual o espaço para as esquadrias e as instalações elétricas e hidráulicas é previsto no processo de produção dos mesmos. As dimensões dos painéis variam de acordo com as características do projeto arquitetônico, porém sua medida padrão é de 265 cm de altura, 115 cm de largura e 10 cm de espessura. De acordo com Barth et al. (2006) a grande vantagem deste sistema construtivo é a união da tecnologia da pré-fabricação com durabilidade e confiabilidade dos usuários com relação ao material aplicado no mesmo. Nas figuras a seguir representam construções produzidas com esse tipo de painel.

Figura 06: Construções produzidas com painéis de vedação de bloco cerâmico. (a) Montagem dos painéis de vedação de blocos cerâmicos. (b) Casa construída com painéis de vedação de bloco cerâmico.



(a) (b)
Fonte: Casas industrializadas Dominó, 2004.

O sistema construtivo de painéis em concreto e PVC é, até agora, uma tecnologia pouco explorada no Brasil. Este, é formado basicamente por perfis leves e modulares de PVC, com espessuras que variam de 2,2 cm a 15 cm e podem suportar até 5 pavimentos. Tais perfis são encaixados e preenchidos com concreto e aço, e sua superfície pode ser revestida por diversos materiais, como cerâmica, pintura, entre outros. Segundo Souza (2005), a modulação dos componentes permite a montagem com inclusão de isolamento térmico em camada adicional externa composta de poliuretano (situação ainda não oferecida na América do Sul). De acordo com o fabricante, o sistema construtivo reduz o tempo da obra em comparação ao sistema construtivo convencional, ele também enfatiza a possibilidade de interface com outros materiais e a elevada durabilidade do produto. As duas imagens a seguir, ilustram a aplicação do painel de vedação em concreto e PVC.

Figura 07: Montagem dos painéis de vedação em concreto de PVC.



Fonte: <<http://solucoesparacidades.com.br/habitacao/passo-a-passo-concreto-pvc-2/>> Acessado em: 24 out. 2012.

Figura 08: Casa construída com painéis de vedação em concreto de PVC.



Fonte: <http://www.concretopvc.com.br/site/sites_braskem/pt/concreto_pvc/segmentos/habitacao_social/habitacao_social_conheca_7099.aspx> Acessado em: 24 out. 2012.

O Laboratório de Sistemas Construtivos da Universidade Federal de Santa Catarina desenvolveu um painel modulado de vedação pré-fabricado que incorpora garrafas de Polímero Termoplástico (PET) recicladas, cortadas e encaixadas, reforçadas com treliça de aço plana em seu perímetro e revestidas nas duas faces com argamassa de cimento e areia (PROVENZANO et. al, 2004). Os painéis podem ser fabricados nos formatos plano ou curvo e segundo o laboratório, as garrafas incorporadas aos painéis proporcionam melhor desempenho térmico, diminui o seu peso e confere maior espessura da parede e rigidez ao conjunto. O painel proporciona a utilização de garrafas recicladas, estimulando a coleta seletiva e beneficiando o meio ambiente (LABSISCO, 2012). A figura a seguir ilustra o processo de produção desses painéis:

Figura 09: Concretagem e desmoldagem dos painéis.



Fonte: <http://www.labsisco.ufsc.br/casa_pet.html> Acessado em: 24 out. 2012.

A escola de Engenharia de São Carlos - EESC-USP - com apoio do Programa de Tecnologia de Habitação (Programa Habitare) desenvolveu um painel alveolar modular de concreto armado de baixo custo e fácil produção que incorpora

resíduos agroindustriais em sua estrutura com o objetivo de ampliar o uso da tecnologia de painéis alveolares aplicado em paredes ou lajes para a Habitação de Interesse Social (figura 10). Diferente dos painéis alveolares que são produzidos industrialmente (com comprimento superior a 100 metros e que são cortados após desmolde) os painéis desenvolvidos por esta pesquisa é fabricado em módulos padrões no qual os alvéolos presentes no mesmo permitem que sejam posicionados previamente os dutos e as caixas relativas às instalações elétricas. De acordo com Reis (2012) estes painéis são compatíveis com estruturas de concreto convencionais, metálica pré-fabricada ou alvenaria, apresentam bom desempenho termoacústico, durabilidade e resiste de 1 a 2 horas em um incêndio.

Figura 10: Preparação dos painéis alveolares.



Fonte: <http://habitare.infohab.org.br/ConteudoGet.aspx?CD_CONTEUDO=531> Acessado em: 24 out. 2012.

3 PROCEDIMENTOS

Os procedimentos metodológicos utilizados para o desenvolvimento dessa pesquisa consistem em:

- **Caracterização de um painel** produzido com fibrocimento;
- **Análise laboratorial das propriedades termofísicas** de amostras do compósito de matriz de cimento com reforços de fibra vegetal;
- **Análise do desempenho térmico** de amostras do painel produzido com fibrocimento;
- **Monitoramento *in loco*** de uma edificação construída com o sistema de vedação produzido com painéis de fibrocimento;
- **Simulação computacional** de uma edificação composta pelo sistema de vedação produzido com painéis de fibrocimento;
- **Síntese dos resultados** obtidos.

Esses procedimentos serão descritos a seguir.

3.1 Caracterização do painel

O sistema de vedação formado por painéis produzidos com fibrocimento é um material novo no mercado brasileiro, que atualmente é produzido por uma fábrica situada em Alagoas. Antes de ser comercializado, o sistema de vedação foi submetido a vários testes realizados pelo Grupo de Estudos de Análise Experimental de Estruturas e Materiais da Universidade Federal de Alagoas. Tais estudos deram origem ao Manual Técnico do produto (BRAUS, 2012), desde então o sistema de vedação passou a ser comercializado e já possui uma demanda significativa no mercado local.

Figura 11: Painéis de vedação produzidos com fibrocimento.



Fonte: Arquivo Braus, 2012.

Os painéis de vedação em estudo são constituídos por uma placa pré-moldada formada por materiais compósitos de base cimentícia enriquecido com fibra vegetal de pó de serra, que configura um painel leve autoportante sem função estrutural (BRAUS, 2012).

Os painéis funcionam como divisórias de vedação de ambientes internos e externos (incluindo áreas molhadas) de qualquer tipo de edificação. De acordo com o fabricante, os painéis são produzidos respeitando os padrões de qualidade estabelecidos com base em características técnicas como: baixa alcalinidade, alta resistência à compressão e tração, leveza, durabilidade e estabilidade dimensional (tabela 07).

Tabela 07: Características técnicas do painel produzido com fibrocimento.

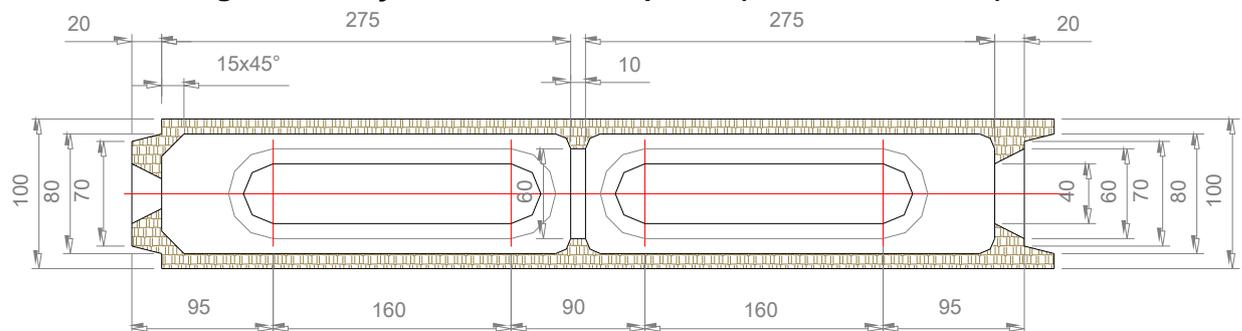
Densidade aparente	1050 kg/m ³
Índice de propagação de chamas superficial	Classe A
Densidade óptica específica de fumaça	1
Resistência ao fogo em parede sem função estrutural	Grau corta fogo CF-60
Estanqueidade a água	Sem infiltrações, gotas e umidade
Resistência a água	Imersão em água por 7 dias
Absorção de água	Média 33,1 %; Desvio Padrão 0,2 %
Índice de vazios	Média 34,0 %; Desvio Padrão 0,1 %
Massa específica	Seca 1,03 g/cm ³ ; Saturada 1,37 g/cm ³
Absorção por capilaridade	C90min 1,6 g/dm ² .sq(min) (ClasseC2)
Encolhimento a seco	0,6 mm/m
Módulo de elasticidade	Est. 11,3 GPa; Din 0.8 GPa
Resistência mecânica à compressão (corpo de prova)	Média 24,5 MPa; desvio padrão 0,9 MPa
Resistência mecânica à flexão (placa esp. 10 mm)	Média (E) 14,4 MPa & (M) 10,7 MPa; Desvio padrão (E) 8,1 MPa & (M) 4,4 MPa; Resistência mínima ensaiada 9,2 MPa.

Fonte: BRAUS, 2012

Quanto às potencialidades do sistema construtivo, o mesmo é caracterizado como um material modulado que visa a racionalização do processo construtivo através da otimização do tempo de produção, redução dos custos e aumento da produtividade. Segundo o fabricante, os painéis absorvem CO₂ da atmosfera através do processo de carbonatação, contribuindo para redução do impacto causado por sua produção. São também incombustíveis, pois apresentam características refratárias, caracterizando-se como paredes corta-fogo grau CF 60 e possuem bom isolamento acústico (33dB) (BRAUS, 2012).

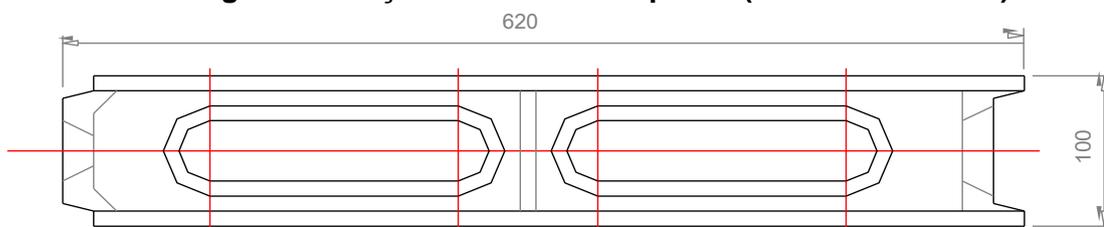
Os painéis são vazados, formados por duas capas de aproximadamente 1 cm e três nervuras longitudinais. As nervuras contém furos oblongos de 20 cm x 4 cm aproximadamente a cada 27cm (figuras 12 e 13). São produzidos com peso superficial de 35 Kg/m², no padrão de 60 cm de largura, 10 cm de espessura e 2,8 m de altura, onde esta última dimensão pode variar de acordo com a necessidade da edificação (figura 14). Estes módulos permitem a incubação de submódulos com possibilidades de ajustes pelas ligações e por pequenos cortes dos painéis (BRAUS, 2012).

Figura 12: Seção transversal do painel (dimensão em mm).



Fonte: Braus, 2012.

Figura 13: Seção transversal do painel (dimensão em mm).



Fonte: Braus, 2012.

Figura 14: Montagem dos painéis.



Fonte: Braus, 2012.

O painel de base cimentícia enriquecido com fibra vegetal de pó de serra passou por algumas avaliações até chegar à dosagem que atualmente é comercializado.

Foram realizados testes no IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) em painéis produzidos com uma dosagem anterior a que atualmente é fabricada. Para a análise do comportamento térmico deste material, o laboratório do IPT (IPT, 2011) obteve os seguintes resultados:

- Resistência Térmica = $0,23 \text{ m}^2.\text{K/W}$
- Transmitância Térmica = $2,50 \text{ W/m}^2.\text{K}$
- Calor Específico = $0,60 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$
- Capacidade térmica = $12,36 \text{ KJ/m}^2.\text{K}$

A avaliação foi realizada segundo o procedimento 1 – simplificado da NBR 15575-4 (ABNT, 2013). Constatou-se que o painel não atendia à NBR 15575-4 (ABNT, 2013), quanto ao desempenho térmico da parede de fachada, pois mesmo a transmitância térmica sendo satisfatória, a capacidade térmica está aquém do critério da norma.

3.2 Monitoramento em laboratório

Como o painel em estudo, na sua dosagem atual ainda não passou por uma avaliação de desempenho térmico, foi necessário realizar um monitoramento em laboratório para averiguar o mesmo.

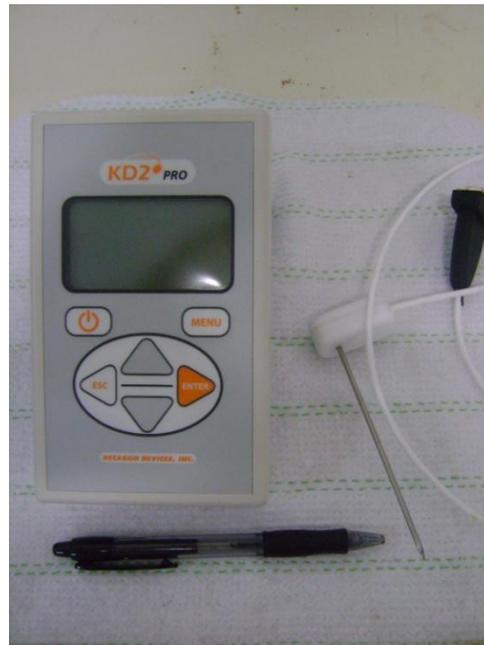
Para obtenção das propriedades termofísicas e avaliação de desempenho térmico do painel em estudo, foram realizadas análises laboratoriais específicas utilizando-se corpos de prova e amostras do painel respectivamente. Estas serão caracterizadas abaixo.

3.2.1 Obtenção das propriedades termofísicas

Para análise das propriedades termofísicas do material que constitui o painel de vedação produzido com fibrocimento, foram realizadas medições⁹ utilizando-se o equipamento Thermal Analyzer KD-2 Pro, fabricado pela Decagon Devices (figura 15). Este aparelho é um dispositivo portátil constituído por um controlador de mão e sensores, que utiliza o método da sonda aquecida para determinar temperatura (T), condutividade (λ) e resistência (R_T) térmicas. Embutido no sensor há uma resistência elétrica e um medidor de temperatura. O calor é gerado pela resistência embutida na sonda e se propaga através do corpo de prova, que é detectado pelo medidor de temperatura também embutido na própria sonda. Quando o regime permanente é atingido, o equipamento calcula e informa o valor das propriedades em função da temperatura e do tempo de aquecimento. De acordo com informações do fabricante (DECAGON DEVICES, 2011), o equipamento opera em conformidade com as normas IEEE Standard 442-1981 e ASTM Standard D 5334-00 (2004).

⁹ Realizadas no Laboratório de Transferência de calor da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Figura 15: O medidor de propriedades termofísicas Analyzer KD-2 Pro.



Fonte: FEIJÓ et al, 2013.

A seguir, são apresentadas algumas especificações gerais referentes ao instrumento Analyzer KD-2 Pro de acordo com o seu manual (tabela 08):

Tabela 08: Condutividade térmica de alguns materiais.

ESPECIFICAÇÕES	
Precisão	5% Calor específico 5% Condutividade / Resistividade térmica Difusividade térmica de 10%
Velocidade de medição	1, 2, 5, e 10 min.
Armazenamento de Dados	4.095 leituras, memória flash
Conformidade com as normas	Padrão IEEE 442-1981 e ASTM D5334-08
Ambiente de trabalho de Sensores	-50 A 150 ° C
Fonte bateria	4 x AA
KD2 Controller Pro	Modelo KD2Pro-C
Auto leitura Modo	Os usuários podem coletar dados autônomos em intervalos definidos pelo usuário no modo de auto leitura
Tipo	Potência do microcontrolador ultra baixa de 16 bits w / 24-bit conversor A / D
Exibir	Display de cristal líquido (LCD) 7,5 cm x 4 cm
Dimensões de	15,5 x 9,5 x 3,5 cm

caso	
Acessórios Incluídos	KS-1 Condutividade Térmica / Resistividade sensor (para líquidos) TR-1 Condutividade Térmica / Resistividade sensor (para sólidos) SH-1 Dual-agulha sensor térmico Propriedades Manual Bolsa de transporte Leitura suporte Padrões de verificação de desempenho térmico Pinos piloto para perfuração de furos pilotos KD2 Pro utilitário de download RS232 cabo
Calibragem	Cada KD2 Pro vem calibrado de fábrica e inclui normas de verificação de desempenho
Faixa de Medidas	K: $0,02-4 \text{ Wm}^{-1} \text{ C}^{-1}$ D: $0,1 \text{ a } 1,0 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$ R: $0,25 \text{ a } 50 \text{mC W}^{-1}$ C: $0,5 \text{ a } 4 \text{ MJ m}^{-3} \text{ C}^{-1}$ * Precisão e gama de medição pode variar com o tipo de sensor

Fonte: <<http://www.labcell.com/environmental/thermal-analyser>> Acessado em 25 out 2012.

O Analyzer KD-2 Pro (Decagon Devices, 2011) disponibiliza três tipos de sensores específicos para cada tipo de meio (líquido, semissólido, sólido e concreto). Para esta pesquisa foi utilizada a sonda do tipo TR-1 (figura 16), que mede a condutividade (λ) e a resistência térmica (R_T) especialmente de solo, concreto, pedra e outros materiais sólidos. A sonda TR-1 é dotada de um cabo de 8mm de comprimento e agulha com 100mm de comprimento e 2.4mm de diâmetro, apropriada para faixa de medição entre $0,1 \text{ W/m.K}$ e $4,00 \text{ W/m.K}$, com incertezas cujos valores encontram-se especificados na tabela 09.

Figura 16: Sonda TR-1.



Fonte: FEIJÓ et al, 2013.

Tabela 09: Características do sensor TR-1.

Tamanho	2,4 mm de diâmetro x 100 mm de comprimento
Intervalo	0,10-4,00 W / (Mk) (condutividade térmica)
	25-1000°C · cm / W (resistência térmica)
Precisão (Condutividade)	± 10% de 0,2-4 W / (m·K)
	± 0,02 W / (m·K) de 0,1-0,2 W / (m · K)
Comprimento do cabo	0,8 mm

Fonte: Decagon Devices, 2011

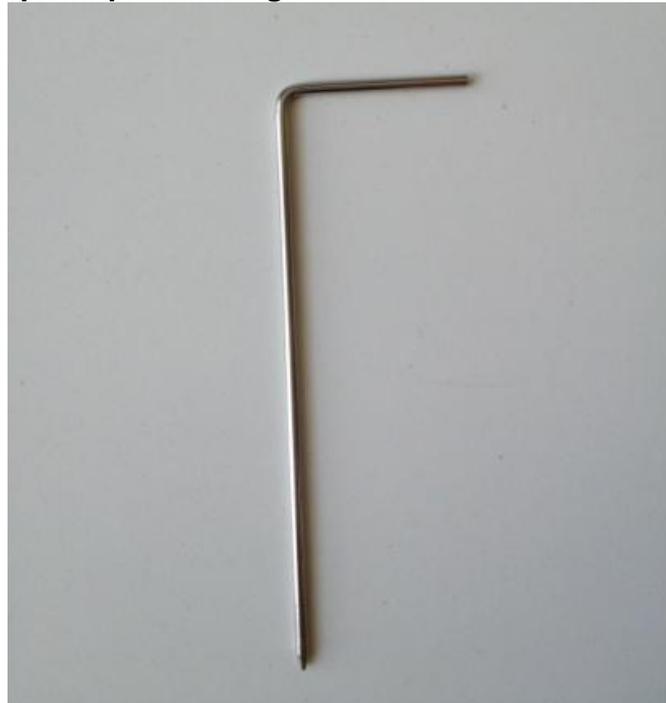
Foram preparados três corpos de prova, constituídos de compósito de base cimentícia enriquecido com fibra vegetal de pó de serra (na dosagem do compósito que atualmente é produzido pela fábrica) e um corpo de prova padrão de concreto (produzido com areia, brita e cimento portland CP-32 Z, sem aditivos). Todos os corpos de prova foram fabricados com 50,0 mm de diâmetro e 200,0 mm de altura, moldados com uma geometria cilíndrica e com uma abertura central de 100,0 mm para inserção da sonda (figura 17). A abertura central foi moldada quando o cimento ainda estava molhado utilizando-se um pino piloto (figura 18), utensílio contido no equipamento que foi retirado após a cura do cimento.

Figura 17: Corpos de prova (1=concreto; 2,3 e 4=compósito base de cimentícia e fibra vegetal).



Fonte: FEIJÓ et al, 2013.

Figura 18: Pino piloto para moldagem da abertura central no corpo de prova.



Fonte: Arquivo pessoal, 2012.

As medições foram realizadas quando o corpo de prova já estava curado, seguindo-se os procedimentos recomendados pelo manual do fabricante. Recobriu-se com uma pasta térmica a sonda TR-1, para facilitar a inserção e retirada no corpo de prova sem danificação da sonda e para garantir a eliminação do ar no interior da abertura central, que alteraria os valores das propriedades λ e R_T - uma vez que, na condição de gás, o ar constitui uma das substâncias com menor condutividade térmica e maior resistência térmica da natureza. Após a inserção da sonda na abertura, o corpo de prova foi colocado no interior de um tubo de PVC vedado na extremidade inferior. Foram utilizados flocos de poliestireno expandido para preencher o espaço entre o corpo de prova e a parede do tubo de PVC, garantindo sua isolamento térmica com o ambiente. A parte superior do tubo foi coberta com um papel e um tecido de algodão que foram presos ao tubo por meio de uma liga elástica de borracha (figura 19 e 20).

Figura 19: Preparação para análise das propriedades termofísicas do corpo de prova. (a) Pasta térmica; (b) Sonda TR-1 recoberta com pasta térmica; (c) Inserção da sonda no corpo de prova; (d) conjunto corpo de prova, sonda e equipamento de medição; (e) montagem do conjunto corpo de prova e sonda no tubo de PVC; (f) colocação de flocos de poliestireno.



Foto: FEIJÓ et al, 2013.

Figura 20: Preparação para análise das propriedades termofísicas do corpo de prova. (a) Tubo de PVC com flocos de poliestireno para isolamento térmico do conjunto corpo de prova e sonda; (b) papel sobre tubo; (c) tecido de algodão sobre tubo; (d) amarração para isolamento; (e) corpo de prova, sonda e equipamento prontos para início das medições.

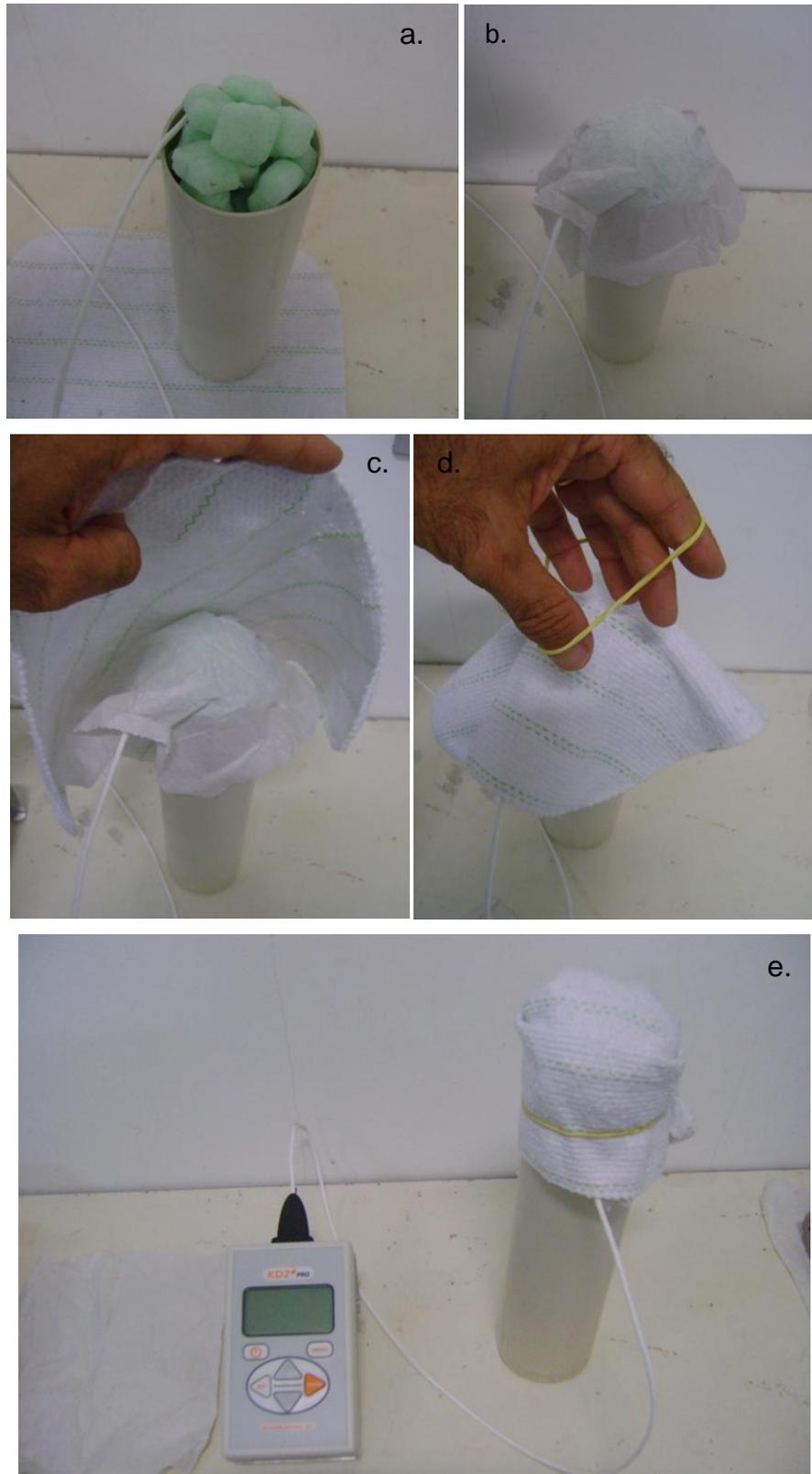


Foto: FEIJÓ et al, 2013.

As medições foram realizadas com o equipamento no modo HPM (higher Power Mode), i.e., alta potência de aquecimento, programado para informar valores da condutividade térmica em intervalos de 10 minutos e valores de resistência térmica em intervalos de 05 minutos de acordo com o documento de Prestação de Serviço do Laboratório de Transferência de Calor da Universidade Federal do Rio Grande do Norte em anexo.

Figura 21: KD2 Pro no momento da medição.

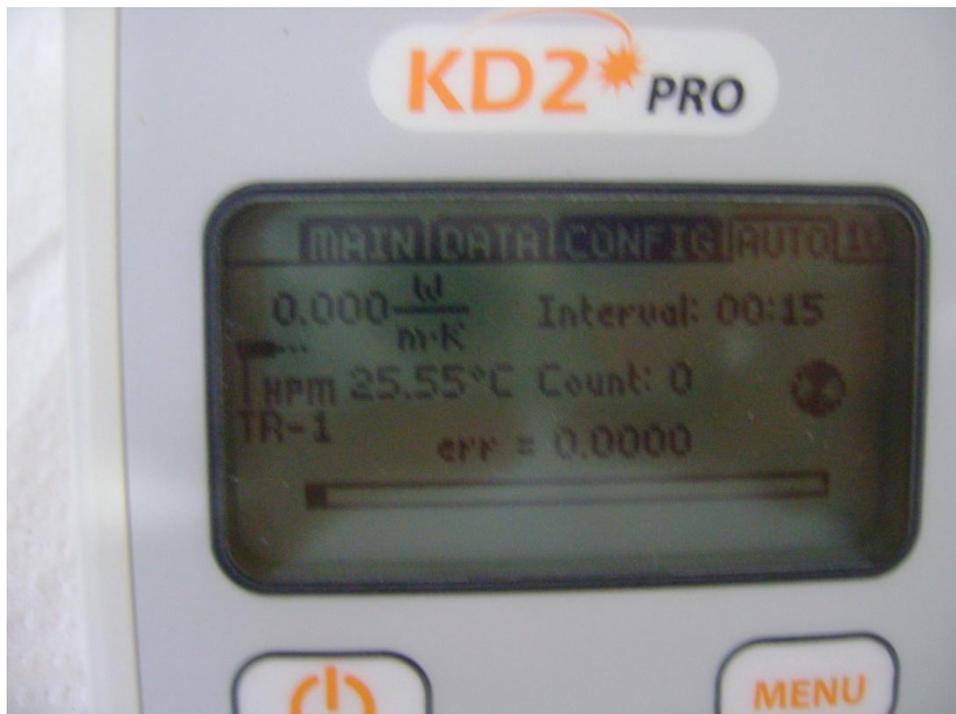


Foto: George Marinho, 2012.

3.2.2 Análise laboratorial do desempenho térmico

Com o objetivo de estimar o desempenho térmico, os painéis foram submetidos à aquecimento em regime permanente, em um ambiente controlado, utilizando um equipamento¹⁰ que simula o ganho de calor proporcionado pela carga térmica solar. Para isso, foram seguidos os procedimentos recomendados por Borges (2009) e Jardim (2011).

O equipamento utilizado na avaliação de desempenho térmico é constituído de duas câmaras de testes idênticas, sobre as quais os corpos-de-prova são montados. Fabricadas de madeira (compensado), com dimensões de 50,0 cm de

¹⁰ Pertencente ao Laboratório de Transferência de Calor, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

largura, 50,0 cm de altura e 50,0 cm de comprimento (figura 22), as câmaras possuem faces internas e externas pintadas com tinta reflexiva branca, para reduzir as trocas térmicas com a sala do laboratório. O aquecimento dos corpos de prova é obtido por meio de uma fonte de radiação térmica artificial, constituída por 24 lâmpadas incandescentes¹¹ de 200W, totalizando 4.800W de potência, fixadas a um painel de madeira móvel que possibilita regulagem da distância e inclinação em relação às câmaras de testes, conforme mostrado na figura 23.

Figura 22: Câmara de ensaio.



Fonte: Arquivo pessoal, 2012.

Figura 23: Banco de lâmpadas incandescentes.



Fonte: Arquivo pessoal, 2012.

Quatro amostras dos painéis foram preparadas e testadas na UFRN para análise comparativa de desempenho térmico, de acordo com a seguinte codificação:

Amostra A	Fibra: Pó de serra tipo 1 (dosagem atual ¹²)
Amostra B	Fibra: Bagaço de cana-de-açúcar
Amostra C	Fibra: Pó de serra tipo 2 (dosagem anterior ¹³)
Amostra D	Concreto

¹¹ Por emitir principalmente radiação infravermelha de onda curta (780 a 1400nm), a lâmpada incandescente se aproxima do espectro da luz visível, permitindo simular o aquecimento dos corpos-de-prova até níveis próximos àqueles encontrados em situação real, i.e., sob luz solar.

¹² Dosagem do compósito que atualmente é produzido pela fábrica.

¹³ Dosagem do compósito produzida em um momento anterior, quando o produto estava sendo testado pela fábrica. Este mesmo produto foi avaliado pelo IPT conforme as informações anteriormente descritas.

Os painéis produzidos com fibrocimento (referentes às amostras A, B e C) foram cortados nos tamanhos de 50 cm de largura, 50 cm de comprimento e 10 cm de altura conforme ilustrado nas figuras 24 e 25. As laterais das amostras foram envoltas com espuma e lacradas com fita adesiva, tornando-as estanques (figura 26 e 27). A amostra D foi moldada em placa de concreto sem espaços vazados, para uso como padrão de comparação, com as mesmas dimensões das outras amostras.

Figura 24: Placas no momento de corte para amostragem.



Fonte: Arquivo pessoal, 2012.

Figura 25: Amostras com 50cmx50cmx10cm.



Fonte: Arquivo pessoal, 2012.

Figura 26: Painel envolto por espuma fixada por uma fita.



Fonte: Arquivo pessoal, 2012.

Figura 27: Painel preparado para análise.

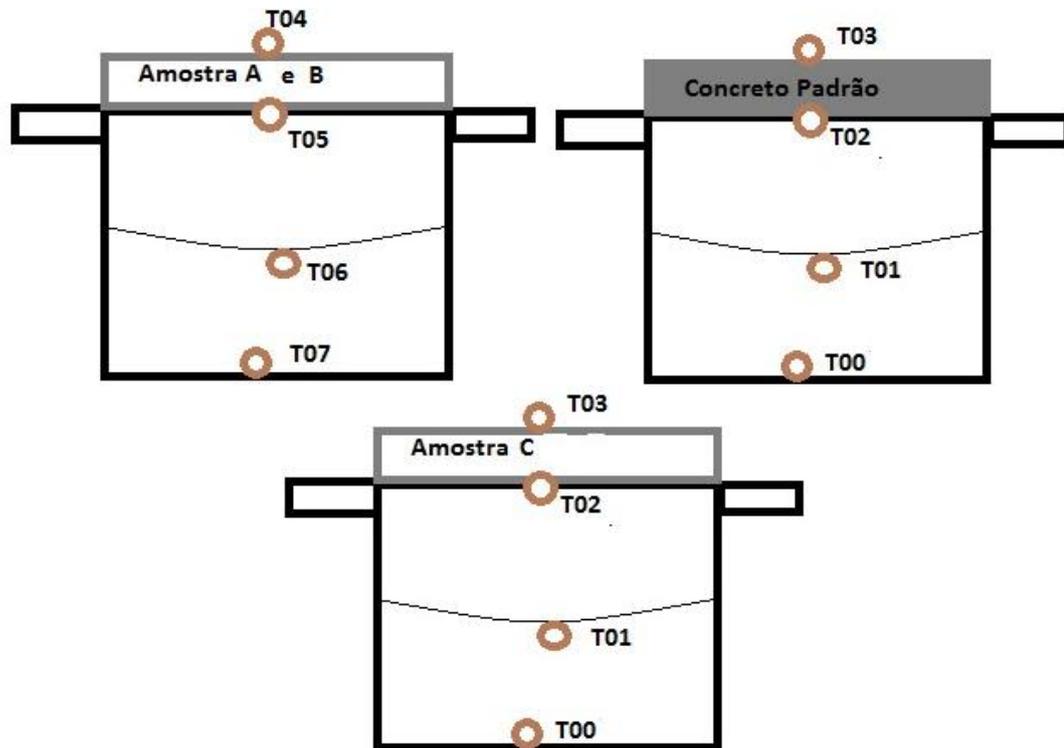


Fonte: Arquivo pessoal, 2012.

Um termopar tipo T (cobre–constantan) foi fixado no centro de cada face de cada amostra de painel. Dois outros termopares do mesmo tipo foram fixados no

interior de cada câmara de testes, sendo um no ponto médio (suspense no ar por um fio de nylon) e outro no piso, conforme indicado na figura 28.

Figura 28: Localização dos termopares nas câmaras de ensaio.



Fonte: Clara Azevedo/LTC – UFRN.

Para instalação dos termopares, foram feitos furos com cerca de 5 mm de profundidade nas superfícies de cada amostra dos painéis. Os termopares foram fixados por meio de um preparado feito com partes iguais de resina epóxi e pó de óxido de cobre, que conferiu boa adesão entre as superfícies e proporcionou condução de calor e isolamento elétrica. Um selo de material refletivo foi utilizado para recobrir o ponto de contato entre o termopar e a amostra, possibilitando ao termopar absorver calor por condução, isto é, sem ganho de calor por radiação térmica direta. Para reduzir as flutuações de aquecimento decorrentes das correntes convectivas no interior das câmaras de testes, as pontas de medição dos termopares suspensos à meia altura do piso das câmaras foram fixadas no centro de cilindros de latão, com cerca de 1,0 cm de diâmetro e 1,0 cm de altura.

Os termopares foram conectados a um sistema de aquisição de dados interligado a um computador (figura 29), programado para registrar a cada quinze minutos a média das medições dos últimos 10 segundos. A incerteza estimada da

medição de temperatura por meio deste sistema de aquisição de dados foi de aproximadamente 2,0 °C.

Figura 29: Computador que recebe os dados de temperatura registrados pelos termopares.



Fonte: Arquivo pessoal, 2012.

As amostras foram dispostas na parte superior de cada câmara, sob o banco de lâmpadas incandescentes, conforme ilustrado na figura 30. As pequenas aberturas formadas entre a placa e a câmara foram vedadas com espuma, de modo a garantir a estanqueidade das câmaras.

Figura 30: Câmara de ensaio com as amostras posicionadas.



Fonte: Clara Azevedo/LTC – UFRN, 2013.

Durante o período em que a etapa de testes de desempenho térmico desta pesquisa foi realizada, a sala do laboratório foi mantida em 24 °C por meio de um sistema de climatização constituído de dois aparelhos condicionadores de ar de 12.000 btu. Uma hora antes de cada teste, o computador era ligado e o sistema de aquisição de dados era ativado, permitindo registro das temperaturas antes do aquecimento. Em seguida, as lâmpadas eram ligadas e a sala lacrada por 12 horas – período relativo à fase de aquecimento. Após 12 horas, as lâmpadas eram desligadas e a sala era novamente lacrada por mais 12 horas – período de resfriamento. Na figura 31 ilustra-se o período de aquecimento das amostras.

Após a finalização das fases de aquecimento e resfriamento, os dados registrados eram gravados em um dispositivo removível, desligava-se o computador e abriam-se todas as portas do laboratório enquanto o sistema de climatização era mantido ligado, de modo a acelerar o processo de resfriamento das câmaras. Esse procedimento durava cerca de 1 hora.

Figura 31: Avaliação de desempenho térmico das amostras.



Fonte: Clara Azevedo/LTC – UFRN, 2013.

Os testes foram realizados durante 07 dias (não continuados), sendo que do 1° ao 4° dia os testes foram realizados com as amostras “A” e “D”, e do 5° ao 7° dia os testes foram realizados com as amostras “B” e “C”.

3.3 Monitoramento *in loco*

Em paralelo à determinação das propriedades termofísicas e da avaliação de desempenho térmico do painel em estudo, para complementação da avaliação feita com o painel isolado, foi realizado um monitoramento *in loco* em uma edificação construída com o painel de base cimentícia enriquecido com fibra vegetal de pó de serra com o objetivo de obter uma resposta comportamento térmico do sistema de vedação aplicado em uma edificação localizada na cidade de Maceió-AL.

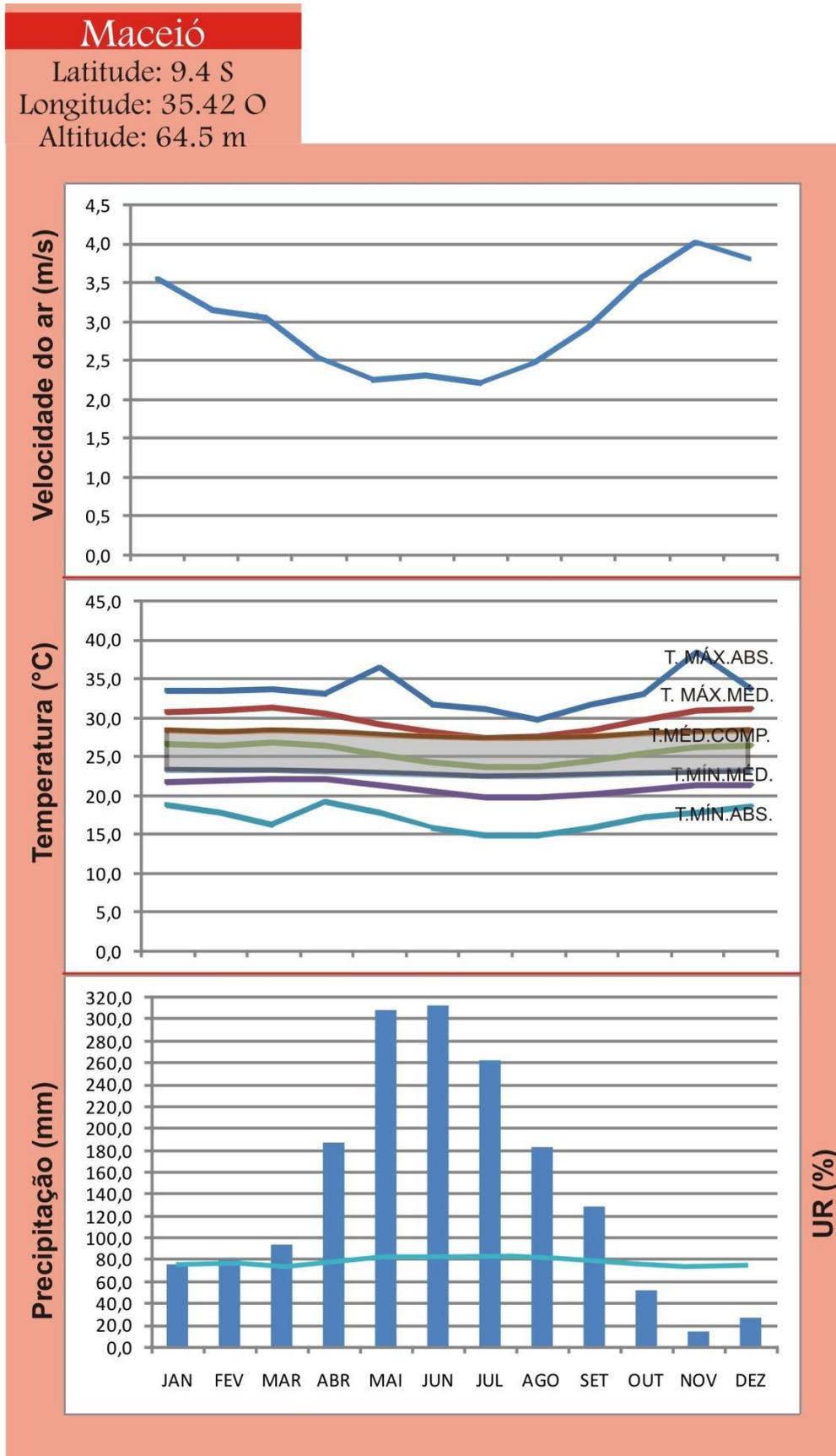
3.3.1 Perfil climático de Maceió

A cidade de Maceió, capital de Alagoas, está localizada na mesorregião do Estado, na latitude 9°40' Sul e longitude 35°42' Oeste. Possui clima caracterizado como quente e úmido com radiação solar intensa, apresentando pequenas variações de temperatura diárias, sazonais e anuais. Sua temperatura média anual é de 24,8 °C com variação anual de 2,8 °C entre os valores médios mensais de temperaturas médias. Nos meses mais quentes a cidade pode apresentar valores de temperatura absoluta em torno de 38°C. Por ser uma cidade litorânea e estar sob a influência de massas d'água, Maceió apresenta uma média de 78,3 % de taxas de umidade relativa do ar. A média pluviométrica anual da cidade é de 2.167,70 mm, porém, possui grande variação anual quanto à distribuição de chuvas (BRASIL, 1992).

Maceió apresenta basicamente duas estações: verão, caracterizado por altas temperaturas e pouca pluviosidade com ocorrência de chuvas passageiras – outubro a janeiro, e inverno, com intensa pluviosidade e temperaturas mais baixas em relação ao verão – abril a julho (BRASIL, 1992).

A seguir na figura 32 tem-se o gráfico do clima para a cidade de Maceió contendo dados médios, mínimos e máximos de uma série histórica (1997-2007) da temperatura do ar (com intervalo de conforto térmico de Auliciems, 1982), umidade relativa do ar e precipitação, publicado por Passos, 2009.

Figura 32: Gráfico do clima para a cidade de Maceió.



Fonte: PASSOS, 2009.

3.3.2 Caracterização da edificação

A unidade habitacional em estudo está inserida em um conjunto de habitações de interesse social localizado na cidade de Maceió construído pelo programa de financiamento Minha Casa Minha Vida. O conjunto habitacional possui 1923 casas com paredes em alvenaria de tijolo cerâmico destinadas à população com renda mensal de até três salários mínimos.

Foi construído um protótipo com paredes formadas por painéis produzidos com fibrocimento compostos por fibra de pó de serra na mesma dosagem dos painéis analisados pelo IPT como também da amostra C, anteriormente explicitada. A unidade habitacional possui 01 varanda, 01 sala, 01 banheiro, 02 quartos, 01 cozinha e 01 área de serviço distribuídos em aproximadamente 38 m² (figuras 33 e 34) com especificações de acordo com o quadro a seguir:

Quadro 01: Especificações técnicas do protótipo.

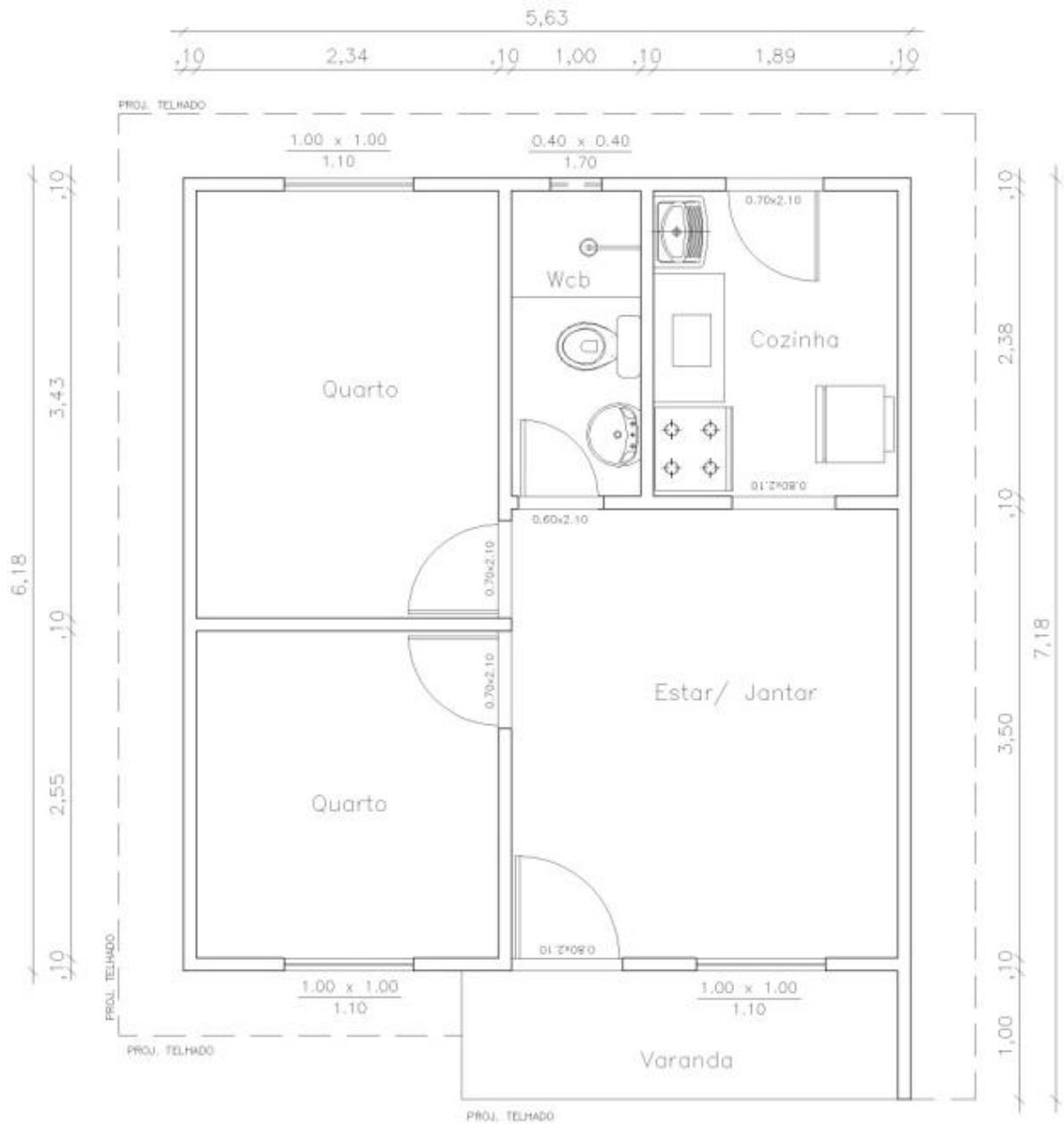
Elemento	Característica	Ambiente
Coberta	Telha cerâmica (sem forro)	Toda a casa
Janelas	Alumínio e vidro, de correr	Toda a casa
Portas	Madeira sem pintura	Toda a casa
Piso	Cerâmica branca sem textura	Cozinha e banheiro
	Cimentado	Sala, quartos e a. serviço
Parede	Cerâmica branca sem textura	Cozinha e banheiro
	Textura verde escuro	Demais paredes da casa

Figura 33: Protótipo analisado – conjunto habitacional em fase de construção.

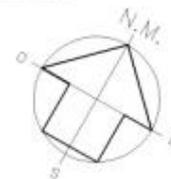


Fonte: Arquivo pessoal, 2011.

Figura 34: Planta Baixa do protótipo analisado.



PLANTA BAIXA
Sem Escala



3.3.3 Monitoramento piloto

Durante 08 dias consecutivos do mês de agosto/2011 foi realizado um monitoramento piloto da variável ambiental de temperatura do ar do protótipo com o objetivo de realizar um estudo preliminar do comportamento da temperatura no interior da edificação.

Para as medições utilizou-se aparelhos registradores do tipo HOBO¹⁴, que foram dispostos em dois ambientes de média e longa permanência do protótipo (na sala, localizada na fachada sudeste e em um dos quartos, localizado na fachada noroeste), pendurados com um barbante a distância de 1,20 m e resguardados em um recipiente de alumínio com furos - que protegem da radiação solar e permitem a ventilação (figura 35). As janelas dos dois ambientes analisados permaneceram abertas durante toda a medição. Vale ressaltar que durante o período das medições todo o residencial encontrava-se em fase de construção, ou seja, não havia usuário na edificação. A temperatura exterior referente aos dias das medições foi obtida por meio de dados fornecidos pela Secretaria de Recursos Hídricos da cidade de Maceió.

Figura 35: Equipamento no momento do monitoramento.



Fonte: Arquivo pessoal, 2011.

¹⁴ HOBO é um sensor portátil do tipo data logger que tem a função de armazenar dados de temperatura e umidade relativa do ar. Os sensores eletrônicos (Dataloggers Hobo Onset) utilizados nessa pesquisa operam com a temperatura na faixa de -40°C a 120°C e umidade relativa de 0 a 95% sem que haja condensação. Segundo o manual aparelho (ONSET COMPUTER CORPORATION, 1999) sua incerteza de medição é de aproximadamente 0,7°C, para a faixa de operação utilizada nas medições (temperaturas entre -5°C e +35°C).

Para análise dos resultados e verificação das condições de conforto da unidade habitacional, as medições in loco foram parametrizadas de acordo com os limites de conforto adotados por Rivero (1985) apresentadas no esquema a seguir:

Quadro 02: Limites de conforto de Rivero (1985).

LIMITES DE CONFORTO	TEMPERATURAS
Muito quente	31°C a 35°C
Quente	28°C a 31°C
Levemente quente	25°C a 28°C
Conforto ótimo	23°C a 25°C
Levemente fresco (frio)	23°C a 20°C
Fresco (frio)	20°C a 17°C
Muito fresco (frio)	17°C a 13°C

Foram adotados, além da escala de conforto de Rivero, índices de conforto térmico baseados em estudos de Pereira e Assis (2010) em concordância ao índice adaptativo¹⁵ de DeDear e Bragger (2002) e com seu aprimoramento em Peeters et al (2009). Esses autores revisaram índices adaptativos recentes e propuseram escalas de conforto, baseadas em temperaturas de neutralidade, consideradas aceitáveis para edificações residenciais do clima quente e úmido e os dividiu em três zonas: banheiros, dormitórios e demais cômodos.

De acordo com os autores, os **banheiros** são os ambientes onde há um limite crítico mínimo de temperatura, devido ao corpo estar geralmente sem vestimenta e molhado. Desse modo, a temperatura de neutralidade é expressa através da Equação 8 a seguir.

$$T_n = 0.306 \cdot T_{e,ref} + 20.32 \text{ °C} \quad (8)$$

Sendo:

T_n : Temperatura de neutralidade

$T_{e,ref}$: Temperatura externa de referência

¹⁵ Buscam reproduzir as condições reais, nas quais o indivíduo também é agente nas condições térmicas do ambiente, ao interagir com o meio (PEREIRA; ASSIS, 2010, p. 33).

Nos **dormitórios** a temperatura de neutralidade é conseguida através de quatro formas diferenciadas, para localidades com velocidade do ar elevadas no verão (Equações 9, 10, 11 e 12).

$$T_n = 16 \text{ °C para } T_{e,ref} < 0 \text{ °C} \quad (9)$$

$$T_n = 0,23 T_{e,ref} + 16 \text{ para } 0 \text{ °C} \leq T_{e,ref} < 12,6 \text{ °C} \quad (10)$$

$$T_n = 0,77 T_{e,ref} + 9,18 \text{ °C para } 12,6 \text{ °C} \leq T_{e,ref} < 21,8 \text{ °C} \quad (11)$$

$$T_n = 26 \text{ °C para } T_{e,ref} \geq 21,8 \text{ °C} \quad (12)$$

Sendo:

T_n : Temperatura de neutralidade

$T_{e,ref}$: Temperatura externa de referência

Para os **demais cômodos**, as seguintes equações são consideradas (Equações 9 e 10).

$$T_n = 20,4 + 0,06 \cdot T_{e,ref} \text{ para } T_{e,ref} < 12,5 \text{ °C} \quad (13)$$

$$T_n = 16,63 + 0,36 \cdot T_{e,ref} \text{ para } T_{e,ref} \geq 12,5 \text{ °C} \quad (14)$$

Sendo:

T_n : Temperatura de neutralidade

$T_{e,ref}$: Temperatura externa de referência

Para alcançar as **faixas de conforto térmico** para edificações residenciais de climas quentes e úmidos, consideram-se as equações a seguir (Equações 15 e 16).

$$T_{upper} = T_n + w \cdot \alpha \quad (15)$$

$$T_{lower} = T_n - w (1 - \alpha) \quad (16)$$

Sendo:

T_{upper} = Temperatura superior

T_{lower} = Temperatura inferior

T_n : Temperatura de neutralidade

w: 5 °C – para aceitabilidade de 90 %

α : 0,7 – para aceitabilidade de 90 %

Para obter a faixa de conforto térmico do protótipo analisado foram utilizadas as equações 12,14,15 e 16. A equação 12 trata da temperatura de neutralidade para

dormitórios, indicando que, para temperaturas externas maiores ou iguais a 21,8 °C (como é o caso da cidade de Maceió-AL), sugere-se uma temperatura de neutralidade de 26 °C.

A equação 14 trata da temperatura de neutralidade para os demais cômodos (sala, cozinha etc), indicando que, para temperaturas externas maiores ou iguais a 12,5 °C sugere-se uma temperatura de neutralidade de 25,5 °C.

As equações 15 e 16 propõe os limites superiores e inferiores respectivamente, de conforto térmico. O percentual de aceitabilidade adotado foi de 90 % de aceitabilidade, onde as temperaturas registradas abaixo dessa variação foram consideradas em desconforto por frio, e as registradas acima do limite superior da zona de conforto térmico, em desconforto por calor. A ocorrência de temperaturas dentro dos limites da zona de conforto aponta a situação de conforto térmico.

3.4 Simulação computacional

Avaliar o comportamento térmico de uma edificação envolve a análise de um grande número de parâmetros inter-relacionados, portanto, o uso de ferramentas de simulação tem sido nas últimas décadas, um subsídio para a previsão de efeitos térmicos de diferentes materiais expostos a diversas condições climáticas (COSTA, 2011).

O uso de simulação computacional possibilita a investigação dos períodos críticos de aquecimento e resfriamento de uma edificação, esta auxilia na determinação do número de graus.hora correspondentes a esses períodos, assessorando o projetista na escolha adequada dos elementos construtivos e estratégias de ventilação em cada localidade. Tais recursos aprimoram o desempenho energético da edificação, desvinculando as exigências de conforto à utilização excessiva de equipamentos mecânicos de iluminação e refrigeração (SCHILLER et al, 2002).

Desenvolvido pelo Lawrence Berkeley National Laboratory em sociedade com outros laboratórios, o *EnergyPlus* (UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY, 2005) é um programa de simulação utilizado para avaliação de desempenho térmico e energético de edificações que combina as potencialidades de outros dois programas, Blast e DOE-2, com o objetivo de estimar trocas térmicas, níveis de iluminação e consumo energético de componentes construtivos e edifícios a partir da

modelagem física da edificação e seus sistemas de ventilação, iluminação, aquecimento e resfriamento (LAMBERTS et al, 2010).

Com o *EnergyPlus*, são realizadas simulações para diferentes climas, conforme o interesse do usuário, a partir de um arquivo climático com dados horários. Como resultado, obtêm-se uma série de dados calculados, tais como temperaturas internas, temperaturas superficiais, fluxo de calor pelos componentes do edifício, ganhos internos de calor, consumo energético, trocas de ar, etc (LAMBERTS et al, 2010, p.15)

Através da utilização do arquivo climático referente à região na qual a edificação está implantada, com dados horários de temperatura, umidade relativa, ventos e radiação solar, o *EnergyPlus* permite a realização de cálculos de balanço de calor em intervalos de até 1 minuto. O *software* pode ser utilizado com diferentes interfaces, como o AUTOCAD® e o EXCEL®, por exemplo, utilizados como ferramentas de análise de resultados.

Com a finalidade de confrontar os resultados obtidos nos demais ensaios efetivados nesta pesquisa, foi realizada uma simulação computacional através do programa *EnergyPlus* (UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY, 2005), conforme recomenda a NBR 15575 (ABNT, 2013).

Para efetivação das simulações foram utilizados parâmetros fixos e variáveis conforme quadro 03.

Quadro 03: Parâmetros fixos e parâmetros variáveis utilizados nas simulações computacionais.

PARÂMETROS FIXOS	PARÂMETROS VARIÁVEIS
Tipologia da edificação	Elemento de vedação vertical (paredes)
Orientação da edificação	Tipo de cobertura (telha)
Tipos de aberturas (dimensões e material das esquadrias)	Tipo de forro
Pé-direito	Isolante térmico

O modelo de tipologia de edificação utilizado para simulação computacional foi o mesmo protótipo de habitação social empregado no monitoramento in loco, modificando apenas alguns elementos e componentes mostradas no quadro a seguir:

Quadro 04: Especificações técnicas do modelo utilizado na simulação computacional.

Elemento	Característica
Coberta	Telha cerâmica (com forro de PVC)
Janelas	Alumínio e vidro, de correr
Portas	Madeira sem pintura
Piso	Cimentado
Paredes	Painel fibrocimento – cor natural (clara)

Além da simulação realizada com a unidade habitacional conforme descrição anterior, foram feitas algumas intervenções na composição da mesma com o objetivo de comparar o desempenho térmico da edificação. O quadro 05 a seguir apresenta as intervenções realizadas para simulação do desempenho térmico:

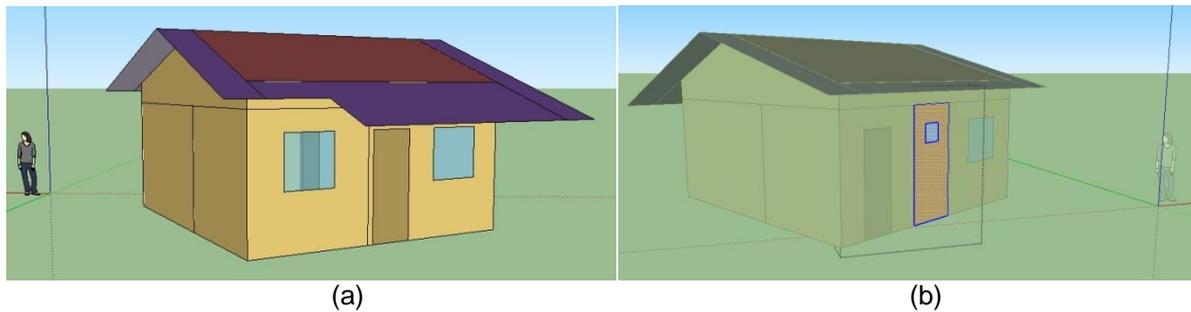
Quadro 05: Intervenções para simulação computacional.

SIMULAÇÃO 1	Painel fibrocimento + telha barro + forro PVC
SIMULAÇÃO 2	Painel concreto + telha barro + forro PVC
SIMULAÇÃO 3	Painel fibrocimento + telha branca + forro PVC
SIMULAÇÃO 4	Painel fibrocimento + telha branca + laje concreto
SIMULAÇÃO 5	Painel fibrocimento + telha branca + laje concreto + lã de rocha

Adotou-se a taxa de ventilação de 1 ren/h e utilizaram-se os dados do ano climático de referência – *TRY (Test Reference Year)* para a cidade de Maceió-AL no qual foi calculada a carga térmica interna da edificação hora a hora, conforme recomendação da NBR 15575 (ABNT, 2013).

Para a geometria do modelo de simulação, faz-se necessária a definição de zonas térmicas da edificação. Portanto a casa foi modelada com cinco zonas térmicas definidas como: sala, quarto 1, quarto 2, banheiro, cozinha e ático (espaço entre o forro e a cobertura de telha cerâmica) (figuras 36).

Figura 36: a) e b) Modelação da edificação.

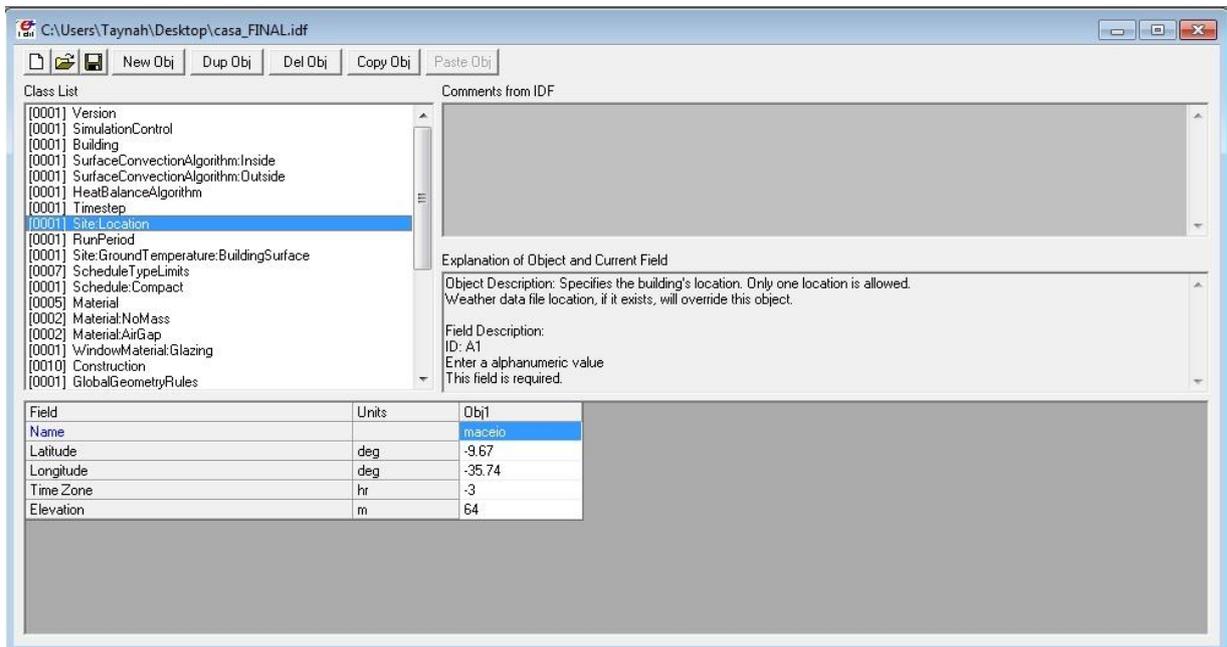


Fonte: SketchUp 8

O *EnergyPlus* deve ser alimentado com dados das propriedades termofísicas dos materiais constituintes da edificação. Para inserção das características do painel de vedação que compõe as paredes da unidade habitacional, foram utilizados os dados obtidos através da análise das propriedades termofísicas do material, as características dos demais materiais e componentes construtivos da casa foram obtidos através da norma NBR 15220 (ABNT, 2005). Vale ressaltar que o valor da densidade do painel de vedação produzido com fibrocimento foi obtido a partir do manual do fabricante e o calor específico do mesmo foi estimado a partir de valores expostos pela NBR 15229 (ABNT, 2005) comparando-os com outros materiais.

Após definição de todas as características construtivas da edificação (dimensões em planta, pé direito dos cômodos, aberturas, tipos de portas e janelas, materiais constituintes das paredes e da cobertura) e inserção de cada um de seus elementos, parâmetros e arquivo climático na tela de edição do *EnergyPlus* (figura 37) foi realizada a simulação, esta apresentou o relatório do comportamento térmico da unidade habitacional sob forma de planilhas com extensão CSV (Comma Separated Values), que foram lidas através de um editor de planilhas eletrônicas e transformadas em gráficos.

Figura 37: Tela de edição do EnergyPlus, no qual são inseridas as características da edificação em estudo.



Fonte: EnergyPlus 8.0

Para a análise dos resultados, a NBR 15575 (ABNT, 2013) recomenda que seja selecionado o dia típico da cidade na qual a edificação está inserida. A temperatura máxima diária da cidade de Maceió para o dia típico de verão, considerada pela norma é de 32,20 °C. De acordo com a simulação computacional esta temperatura foi atingida no dia 16 de março às 13:00h. Vale ressaltar que para a Zona Bioclimática 8 a condição de inverno não necessita ser verificada.

3.5 Estimativa das condições de conforto térmico interno

Assim como o monitoramento *in loco*, os resultados das simulações foram plotados sobre os limites de conforto estabelecidos através da metodologia de Peeters et al (2009).

3.6 Síntese dos resultados e discussões

Após os procedimentos de simulação, foi realizada uma síntese dos resultados obtidos objetivando comparar a influência dos materiais aplicados na previsão do desempenho térmico da edificação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentados os resultados e as discussões da análise das propriedades termofísicas e avaliação laboratorial do desempenho térmico do painel, além do monitoramento *in loco* de uma edificação construída com os painéis em estudo e simulação computacional do desempenho térmico de um modelo de edificação.

4.1 Análise laboratorial das propriedades termofísicas

A tabela 10 apresenta o resultado laboratorial das medições da condutividade (λ , em W/m.K e da resistência (R_T , em °C.cm/W), assim como os respectivos erros indicados pelo equipamento utilizado.

Tabela 10: Propriedades termofísicas das amostras.

Amostra	λ (W/m.K)	Erro (λ)	R_T (°C.cm/W)	Erro (R_T)
(1) argamassa padrão, sem raspas de madeira	1,484 a 1,597	0,0084 a 0,0105	66,39 a 68,17	0,0058 a 0,0072
(2) argamassa com raspas de madeira	0,896 a 0,964	0,0036 a 0,0070	117,7 a 121,0	0,0018 a 0,0030
(3) argamassa com raspas de madeira	0,858 a 0,874	0,0025 a 0,0032	120,1 a 122,4	0,0024 a 0,0033
(4) argamassa com raspas de madeira	1,036 a 1,142	0,0049 a 0,0063	97,04 a 100,7	0,0024 a 0,0036

De acordo com a tabela 7, o valor médio da condutividade térmica do corpo de prova padrão é de 1,5405 W/m.K. Comparando-o ao valor indicado pela ABNT (1,75 W/m.K) exposto na tabela 4, constata-se que o valor apresentado na norma é cerca de 14% superior àquele obtido nos experimentos.

Tratando-se de propriedades termofísicas, a utilização de valores tabelados, em geral pontuais, nem sempre correspondem à realidade experimental. Ainda que as amostras sejam produzidas seguindo-se rigorosamente as recomendações das normas e dos fabricantes, os valores obtidos nos experimentos são distintos dos

valores apresentados em tabelas disponíveis na literatura, uma vez que alguns parâmetros como a instrumentação, métodos de medição e especificidades de procedimentos contribuem para essa diferença de valores (FEIJÓ et al, 2013).

É importante salientar que a preocupação com a magnitude da diferença dos valores das propriedades termofísicas, é relevante quando se considera, por exemplo, a carga térmica resultante no interior das habitações, no qual uma pequena diferença na condutividade térmica pode resultar em incrementos substanciais na quantidade de energia a ser removida para que a condição de conforto térmico seja atingida (FEIJÓ et al, 2013).

Portanto, em vez de valores pontuais, acredita-se que é mais prudente considerar faixas de valores de propriedades termofísicas. Apesar disso, para facilitar a comparação dos resultados experimentais, os dados da tabela 7 foram utilizados para produzir gráficos com valores pontuais, apresentados nos gráficos 01 e 02.

Gráfico 01- Condutividade térmica das amostras obtidas através da análise laboratorial.

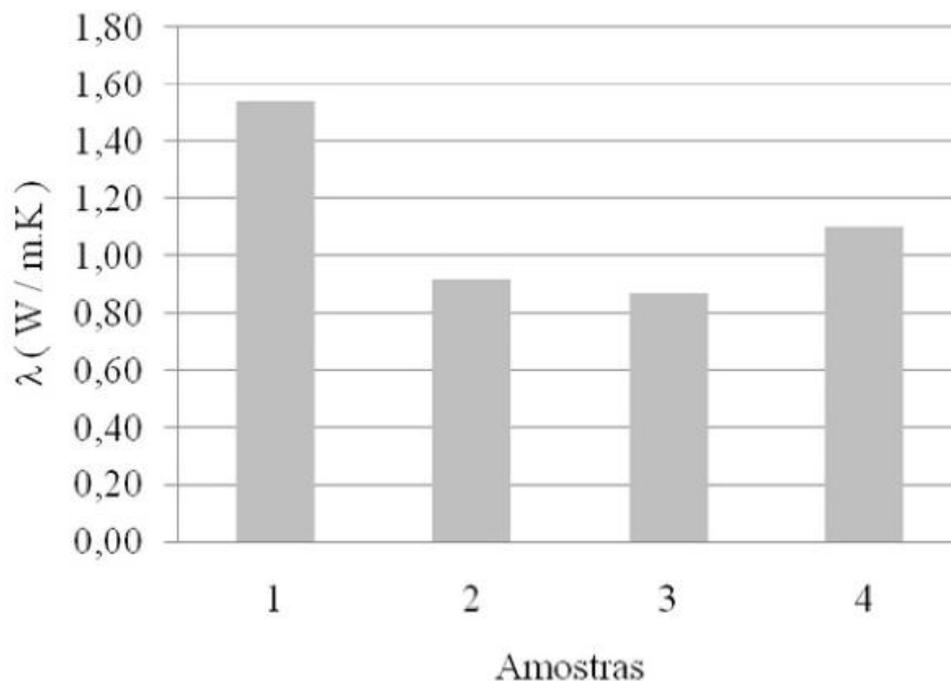
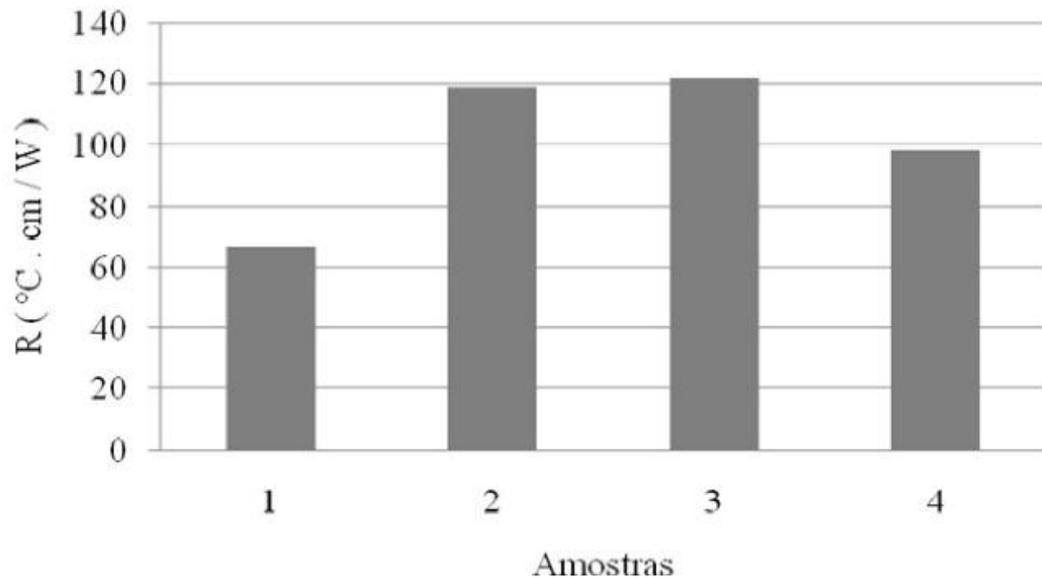


Gráfico 02 – Resistência térmica das amostras obtidas através da análise laboratorial.



Observa-se que a condutividade térmica da amostra padrão (“1”) foi superior aos valores obtidos para as amostras do compósito (“2”, “3” e “4”), fato que pode ser atribuído à presença de ar, agregado aos corpos de prova do compósito pelas partículas de fibra vegetal. Conseqüentemente, a resistência térmica do compósito foi maior que a da amostra padrão, como pode ser observado no gráfico 02.

Os gráficos 03 e 04 a seguir apresentam as comparações entre os valores médios das propriedades das amostras do compósito e do concreto padrão.

Gráfico 03: Condutividade térmica das amostras analisadas.

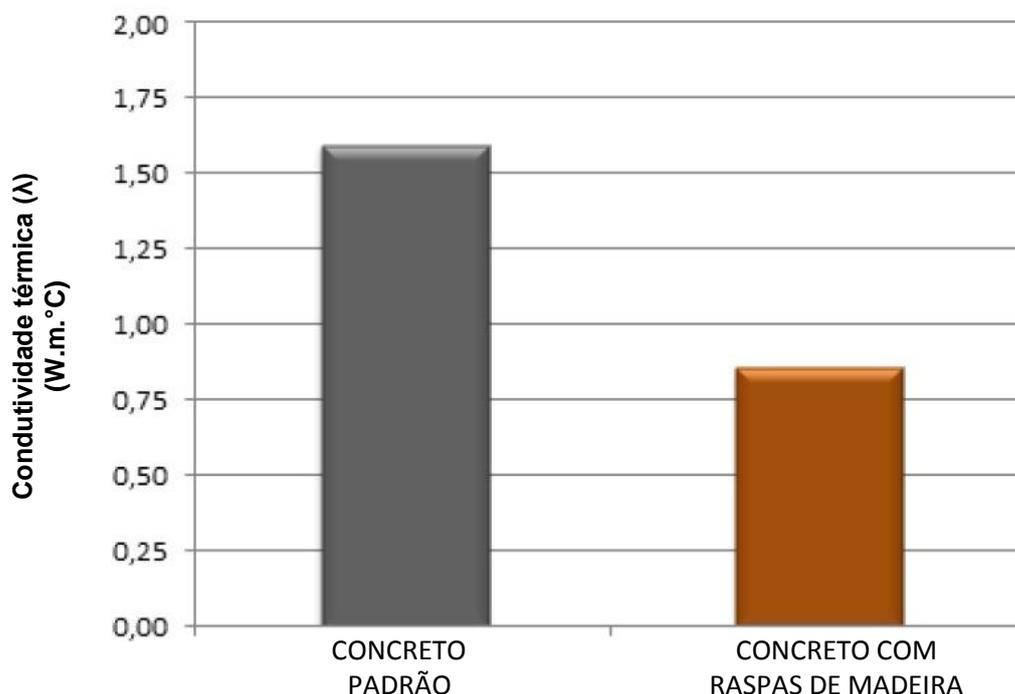
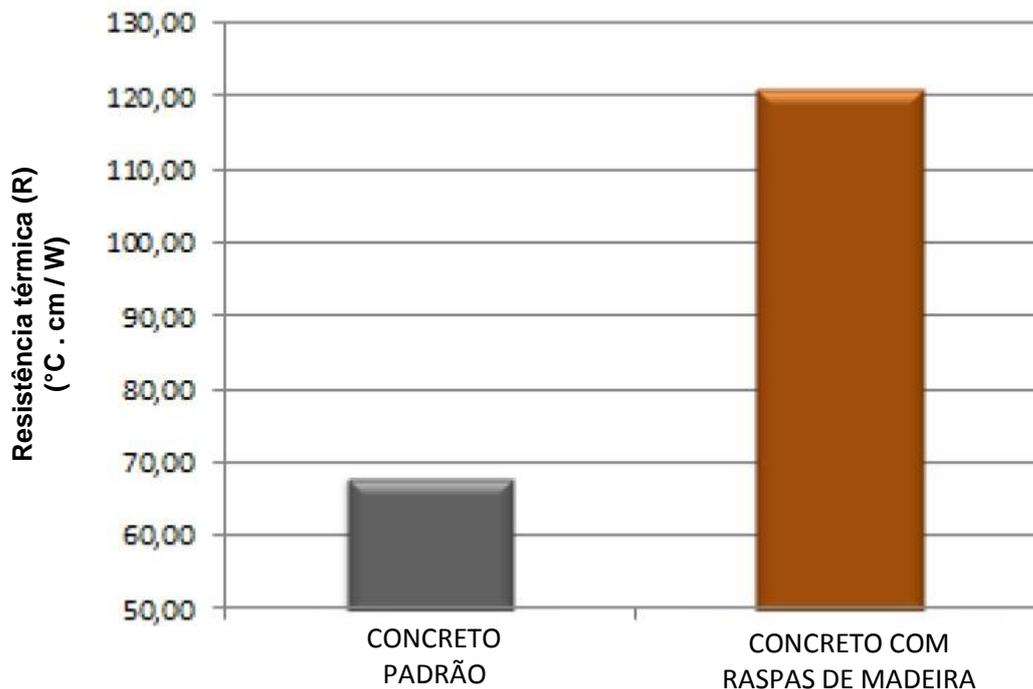


Gráfico 04: Resistência térmica das amostras analisadas.

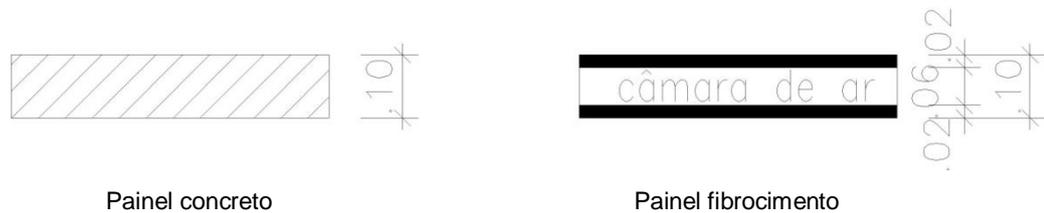


De acordo com o gráfico 03, a amostra de concreto padrão apresentou um valor médio de condutividade térmica de $1,54 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$, cerca de 60% superior ao valor médio de λ do compósito, que atingiu $0,96 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$. Como se vê no gráfico 04, a resistência térmica do compósito apresentou um valor médio de $121,0 \text{ }^\circ\text{C.cm/W}$, aproximadamente 68% superior ao da amostra padrão, para a qual se obteve $68,17 \text{ }^\circ\text{C.cm/W}$. Tais resultados são atribuídos à presença de ar, transportado para dentro dos corpos de prova do compósito pelas partículas de fibra vegetal. O valor médio de λ do ar é de aproximadamente $0,026 \text{ W/m.K}$ (Ozisik, 1990), ou seja, quase sessenta vezes inferior ao valor determinado experimentalmente para o λ do concreto padrão. Também é relevante considerar o fato da própria fibra da madeira possuir um valor de λ ($0,29 \text{ W/m.K}$) – tabela 04 - cerca de cinco vezes menor que o do concreto padrão, o que também contribuiu para reduzir a condutividade térmica média do compósito.

4.2 Cálculo das resistências térmicas (R , R_t e R_T) e da transmitância térmica (U)

A partir dos valores da condutividade térmica (obtidos em laboratório) dos materiais – fibrocimento e concreto, foram elaborados os cálculos da resistência

térmica e da transmitância térmica dos componentes – painel de fibrocimento e painel de concreto - fundamentado no método de cálculo da NBR 15220-2 (2005), apresentados a seguir.



Painel concreto

Painel fibrocimento

- Resistência térmica para componente com camadas homogêneas:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (4)$$

e = espessura do painel de concreto

λ = condutividade do material (concreto)

- Resistência térmica para componente com câmara de ar ventilada:

$$R_t = \frac{e_1}{\lambda_f} + R_{ar} + \frac{e_2}{\lambda_f} \quad (5)$$

e_1 = espessura 1º camada do painel de fibrocimento

e_2 = espessura 2º camada do painel de fibrocimento

λ = condutividade do material (fibrocimento)

R_{ar} = resistência ar (fluxo de calor descendente) = 0,21

- Resistência térmica de ambiente a ambiente:

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} \quad (6)$$

R_{si} = resistência superficial interna = 0,17

R_{se} = resistência superficial externa (fluxo de calor descendente) = 0,04

➤ Transmitância térmica

$$U = \frac{1}{RT} \quad (7)$$

Foram obtidos os seguintes resultados:

Componente	Resistência térmica (R _T)	Transmitância térmica (U)
Painel fibrocimento	0,46	2,17
Painel concreto	0,27	3,70

Assim como na análise das propriedades termofísicas do material, observa-se que o concreto obteve valor de resistência térmica inferiores ao compósito de fibrocimento.

De acordo com a NBR 15575-4 (ABNT, 2010) para obter o desempenho mínimo de aceitação (nível M), e considerando a absorvância estimada por Dornelles (2008) para pintura na cor concreto de 79,1%, a norma sugere que a transmitância térmica do material deva ser menor igual a 2,5 W/m².K.

Portanto, constata-se que o componente - painel produzido com fibrocimento atende à norma NBR 15575-4 e pode apresentar desempenho térmico adequado à aplicação em todas as zonas bioclimáticas do país, ao contrário do painel de concreto, que além de obter um valor de resistência térmica inferior ao painel de fibrocimento, apresentou um valor de transmitância térmica superior ao exigido pela norma.

4.3 Análise laboratorial do desempenho térmico dos painéis

Os testes em laboratório foram realizados com o objetivo de averiguar o desempenho térmico dos painéis comparativamente a um sistema de uso corrente na construção civil, quando submetidos às mesmas condições térmicas em um ambiente controlado.

Os gráficos 05 a 20 apresentam as curvas de aquecimento e resfriamento das amostras, do interior e do piso das câmaras, monitoradas durante um período de aproximadamente 24 horas.

4.3.1 Temperatura na face externa das amostras

Nos gráficos 05 a 07 apresentam-se as curvas de temperatura da superfície externa das amostras, e no gráfico 08 veem-se as curvas de temperaturas médias.

Observa-se que, durante o aquecimento, a amostra “C” (pó de serra tipo 2 - dosagem anterior) atingiu temperaturas superiores às temperaturas das outras amostras; porém, durante o resfriamento, sua temperatura permaneceu inferior às temperaturas das amostras “A” (pó de serra tipo 1 - dosagem atual) e “D” (concreto). Esse fato indica maior capacidade de absorção de calor pela amostra “C” em relação às demais amostras.

A temperatura da superfície externa das amostras é função das propriedades radiantes e propriedades termofísicas do material. As propriedades radiantes são: transmitância (τ), absorvância (α) e refletância (ρ), matematicamente relacionadas pela equação 8.

$$\tau + \alpha + \rho = 1 \quad (8)$$

Uma vez que as amostras consideradas nesta pesquisa são opacas à luz da fonte utilizada nos testes, a equação (8) pode ser reescrita na seguinte forma:

$$\alpha + \rho = 1 \quad (9)$$

As propriedades termofísicas que determinam a quantidade de energia que atravessa a superfície de um corpo por condução de calor são a condutividade térmica (λ) e a capacidade calorífica (c_p). Se duas superfícies forem submetidas à mesma quantidade de energia radiante, a energia absorvida pela superfície, isto é, não refletida, atravessará uma amostra em maior magnitude se sua condutividade térmica for relativamente superior e sua capacidade calorífica for relativamente inferior aos valores da outra amostra. Maior condutividade térmica e menor capacidade calorífica, juntas, significam maior difusividade térmica, que se traduz na velocidade com que os corpos respondem a uma variação de temperatura. Essa grandeza termofísica é matematicamente expressa pela seguinte relação:

$$\delta = \lambda / \rho \cdot c_p \quad (10)$$

Se dois corpos recebem a mesma quantidade de energia, menos calor passará através daquele que possuir menor condutividade térmica (isto é, maior resistência térmica) e maior capacidade calorífica. A quantidade de energia que deixa de atravessar o corpo servirá para aumentar a temperatura da superfície externa, como determina a conservação de energia (1ª Lei da Termodinâmica).

Gráfico 05: Temperatura na face externa das amostras – 2º e 5º dia.

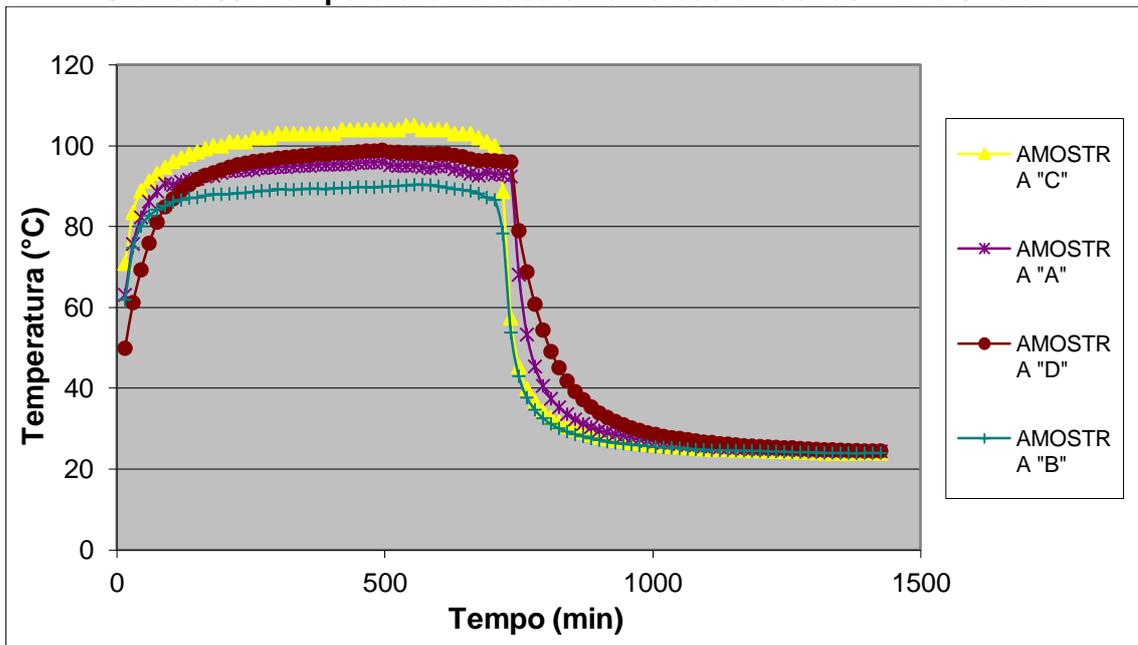


Gráfico 06: Temperatura na face externa das amostras – 3º e 6º dia.

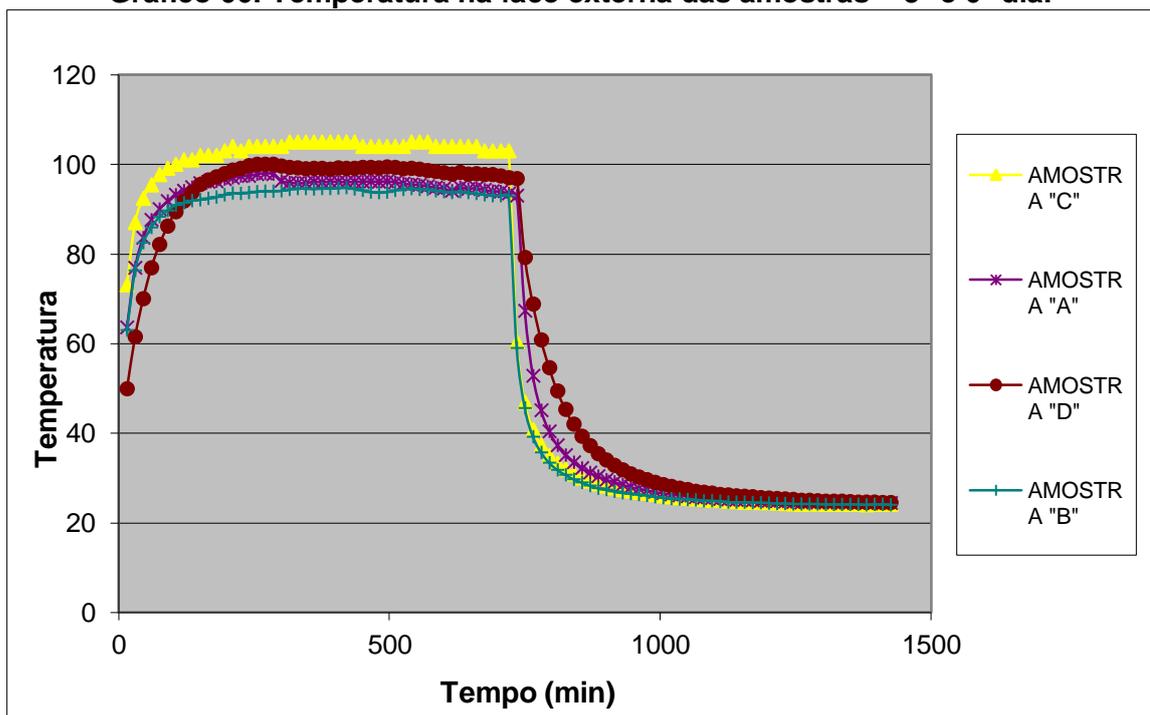


Gráfico 07: Temperatura na face externa das amostras – 4° e 7° dia.

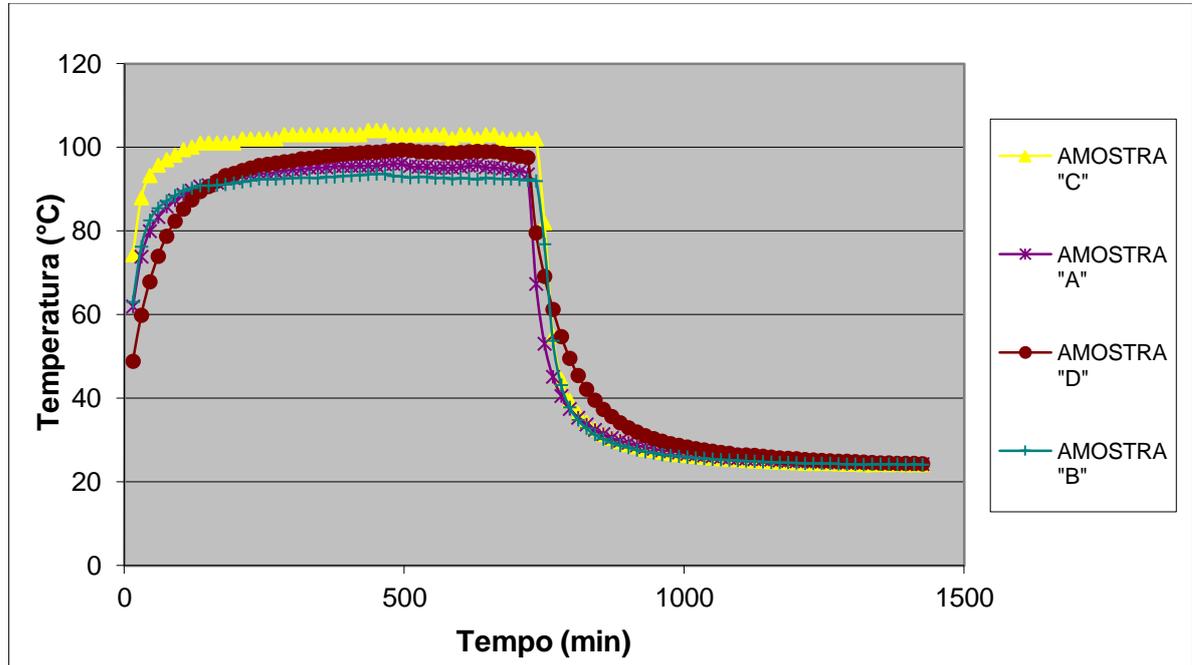
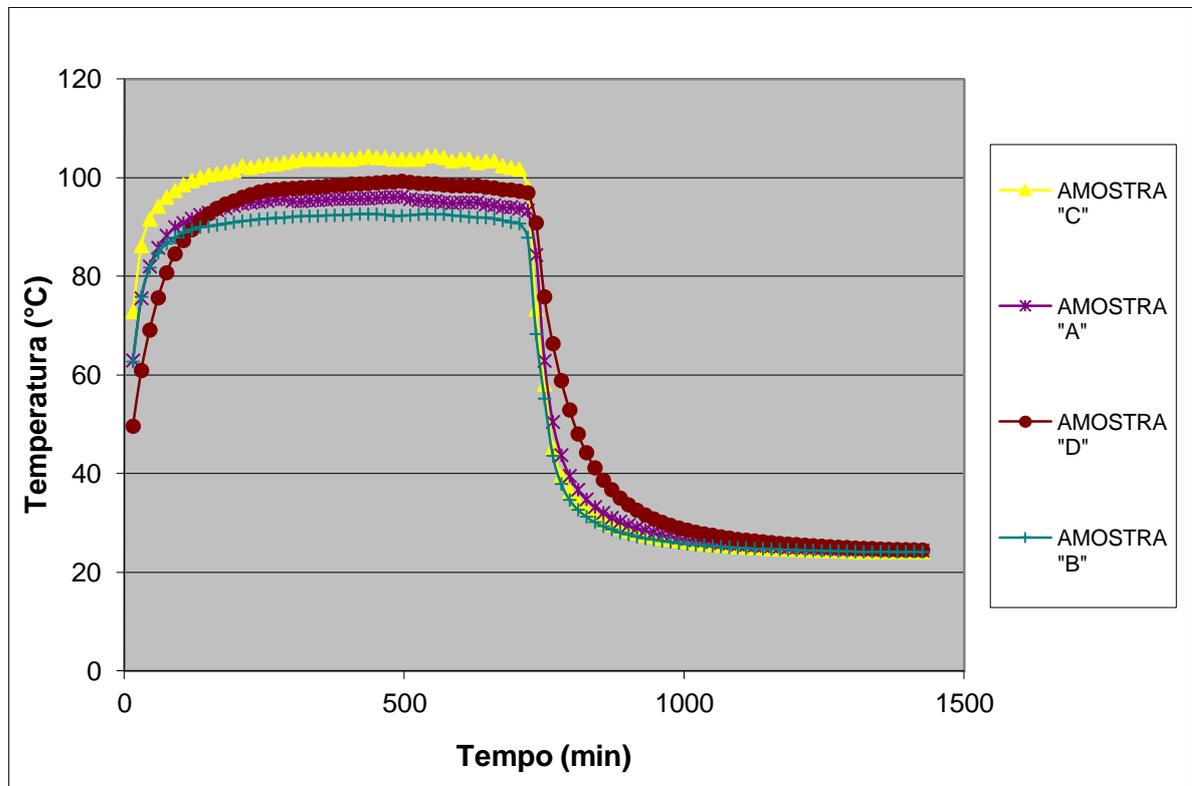


Gráfico 08: Temperatura na face externa das amostras – média.



Durante o aquecimento, todas as amostras apresentaram atenuação da carga térmica proveniente da fonte de radiação artificial, com as temperaturas das

superfícies externas atingindo entre 90°C e 100°C enquanto as temperaturas de equilíbrio das superfícies internas ficaram abaixo de 60°C e no meio e no piso das câmaras ficaram abaixo de 40°C.

Nos testes realizados, as temperaturas da superfície externa do corpo-de-prova padrão de concreto (amostra “D”) ficaram acima da temperatura da maioria dos outros corpos, perdendo apenas para o painel de pó de serra tipo 2 (amostra “C”). Por outro lado, ainda no aquecimento, as temperaturas de sua superfície interna foram inferiores às temperaturas das outras amostras, evidenciando a conservação de energia, uma vez que o calor não transferido ao interior da câmara manteve-se na superfície externa (daí sendo transferido ao meio por convecção e radiação) e reduziu o aquecimento do meio e do piso da câmara, como se observa nas figuras 09 a 20. A maior capacidade calorífica do concreto resultou em um resfriamento mais lento, com temperaturas maiores quando comparadas às temperaturas dos outros materiais testados.

A amostra “A” apresentou temperaturas na superfície externa relativamente menores (perdendo para amostra “B”) e temperaturas na superfície interna maiores (iguais às temperaturas da amostra “C”), indicando uma maior passagem de calor para o interior da câmara, como se observa nas curvas das temperaturas do meio e do piso da câmara.

Nos testes de aquecimento, as temperaturas da superfície externa da amostra “B” (bagaço de cana-de-açúcar) foram inferiores às temperaturas das outras amostras. As temperaturas de sua face interna também apresentaram o mesmo comportamento, ficando acima apenas da amostra de concreto. Esse fato pode ser atribuído à maior resistência térmica da amostra “B”, resultando em temperaturas menores no meio e no piso da câmara, perdendo apenas para o concreto.

A amostra “C” apresentou as maiores temperaturas nas superfícies externa e interna ($T_{\text{interna}} \approx$ amostra “A”). Isso pode ser atribuído a uma baixa refletividade relativa (ou alta absortividade) associada a uma alta difusividade térmica, hipótese reforçada pela rapidez registrada nas etapas de resfriamento. Conseqüentemente, as temperaturas do meio e do piso ficaram acima das amostras “B” e “D”, perdendo apenas para a amostra “A”.

4.3.2 Temperatura na face interna das amostras

Nas figuras 09 a 12 apresentam-se as curvas de aquecimento e resfriamento da superfície interna das amostras.

Gráfico 09: Temperatura na face interna das amostras - 2° e 5° dia.

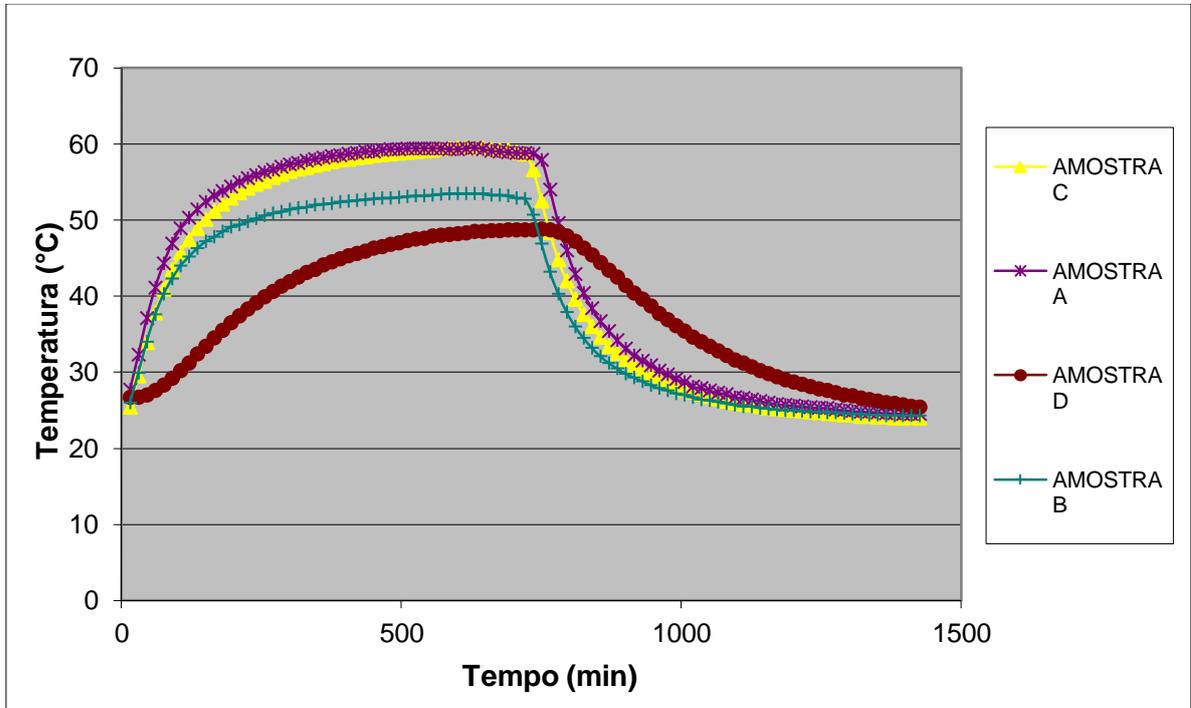


Gráfico 10: Temperatura na face interna das amostras - 3° e 6° dia.

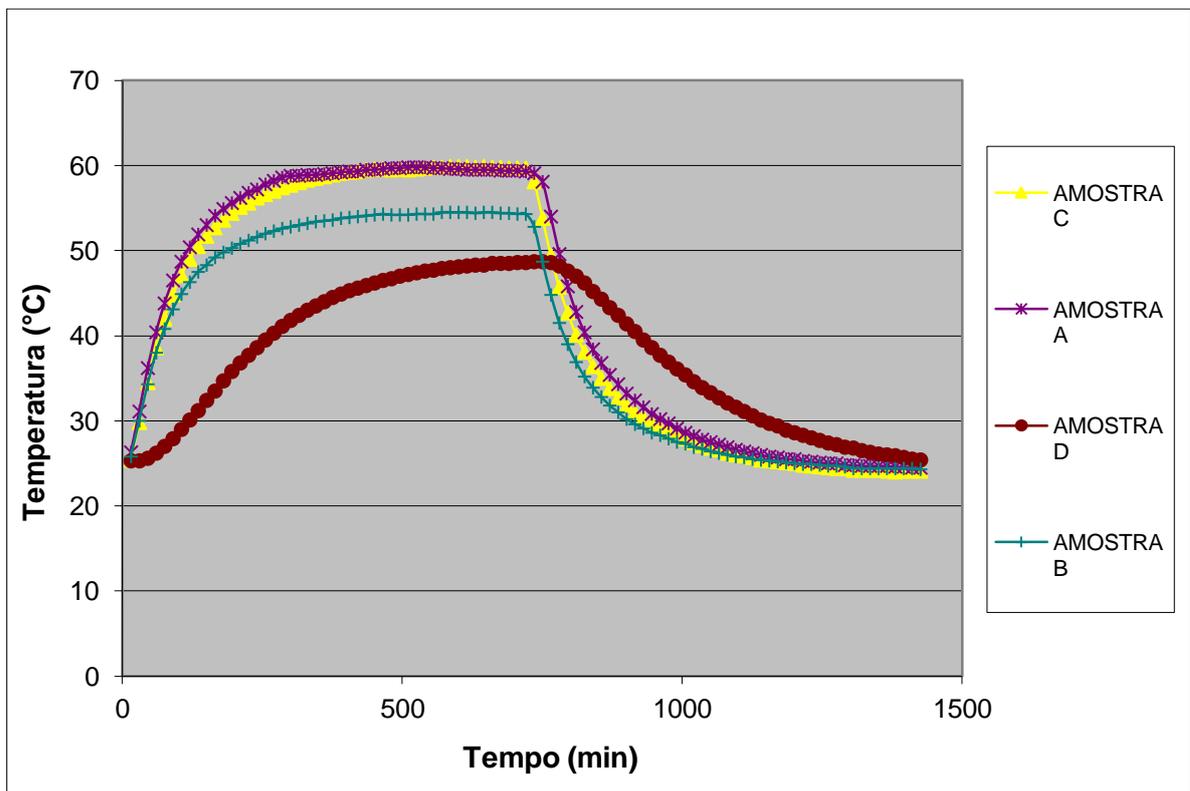
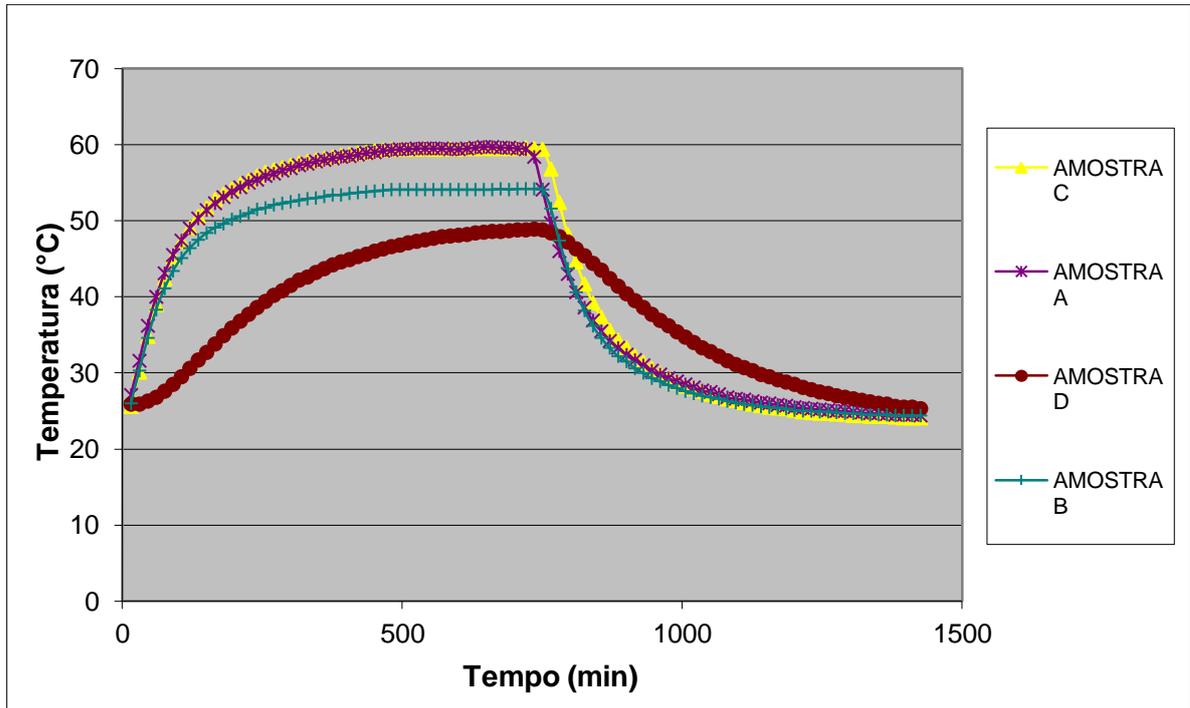
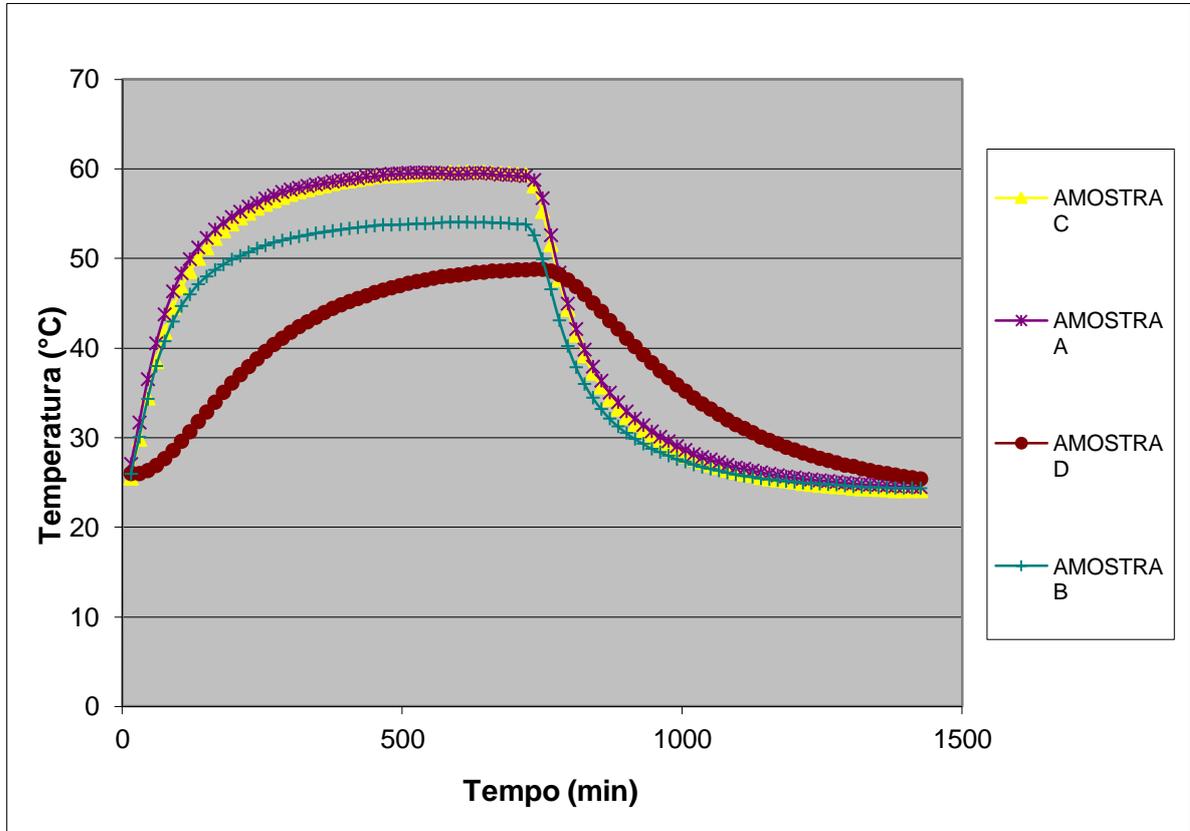


Gráfico 11: Temperatura na face interna das amostras - 4° e 7° dia.**Gráfico 12: Temperatura na face interna das amostras - média.**

No aquecimento, as amostras “A” (pó de serra tipo 1 - dosagem atual) e “C” (pó de serra tipo 2 - dosagem anterior) apresentaram curvas quase exatamente superpostas, provavelmente devido ao fato de que ambas são constituídas pelos mesmos componentes (mudando apenas a dosagem). Suas temperaturas foram superiores às temperaturas das demais amostras. No resfriamento, suas temperaturas foram inferiores à amostra “D” (concreto).

Observa-se que a curva de temperatura da amostra “D” apresentou valores de aquecimento inferiores às demais; porém, o material teve resfriamento mais lento, resultando em valores superiores ao restante das amostras.

Nos experimentos para determinação de propriedades termofísicas (realizados com amostras maciças de cada material), a amostra “A”, de pó de serra tipo 1 (dosagem atual), apresentou maior resistência térmica quando comparada às amostras de concreto (amostra “D”). O fato de o concreto apresentar maior massa e, conseqüentemente, maior densidade, aumentou a capacidade térmica da mesma, que conteve a onda de calor na amostra e, desse modo, ratificou os resultados evidenciados nos gráficos.

Como as amostras “A”, “B” e “C” apresentam uma câmara de ar interna, correntes convectivas são formadas em função das variações de temperatura, diminuindo a resistência térmica e aumentando a capacidade térmica. O processo convectivo é complexo. Em geral, a presença de ar confinado retarda a passagem do calor através da amostra. Na medida em que a diferença de temperatura aumenta, as correntes tornam-se mais intensas, aumentando a passagem de calor. No presente estudo, há um fator complicador: as paredes das amostras são relativamente delgadas, resultando em menor resistência térmica e maior transferência de calor às câmaras de ar, fazendo aumentar o processo convectivo.

Conclui-se que o efeito da maior resistência térmica apresentada na amostra de pó de serra, verificada na análise das propriedades termofísicas do material, só teria efeito se a mesma apresentasse a mesma densidade da amostra de concreto.

4.3.3 Temperatura no meio da câmara

Nos gráficos 13 a 16 apresentam-se as curvas de aquecimento e resfriamento do meio das câmaras de testes.

Gráfico 13: Temperatura no meio da câmara - 2° e 5° dia.

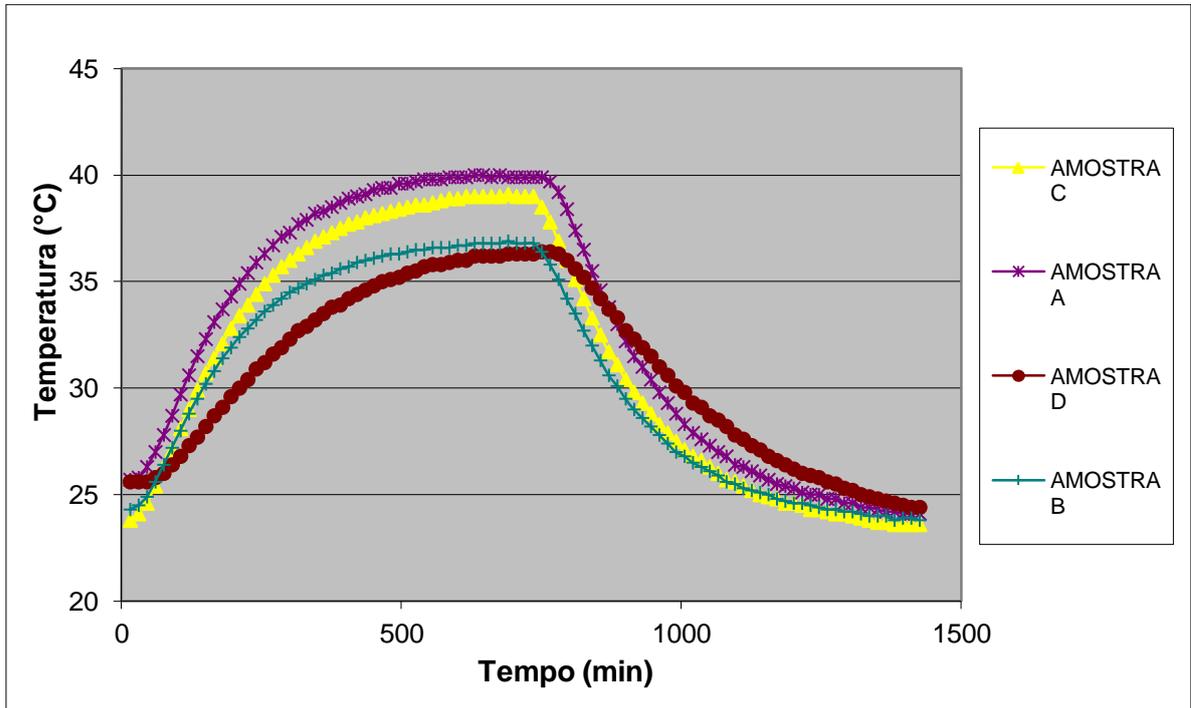


Gráfico 14: Temperatura no meio da câmara - 3° e 6° dia.

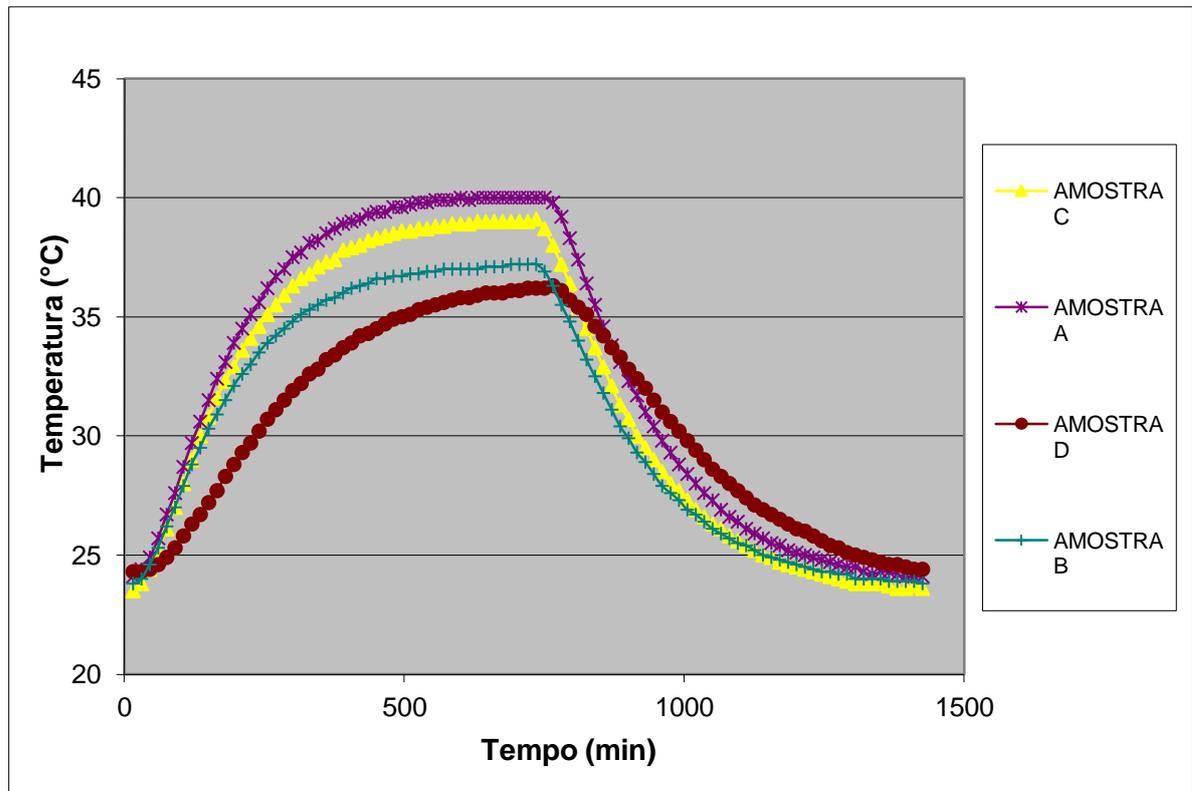


Gráfico 15: Temperatura no meio da câmara - 4° e 7° dia.

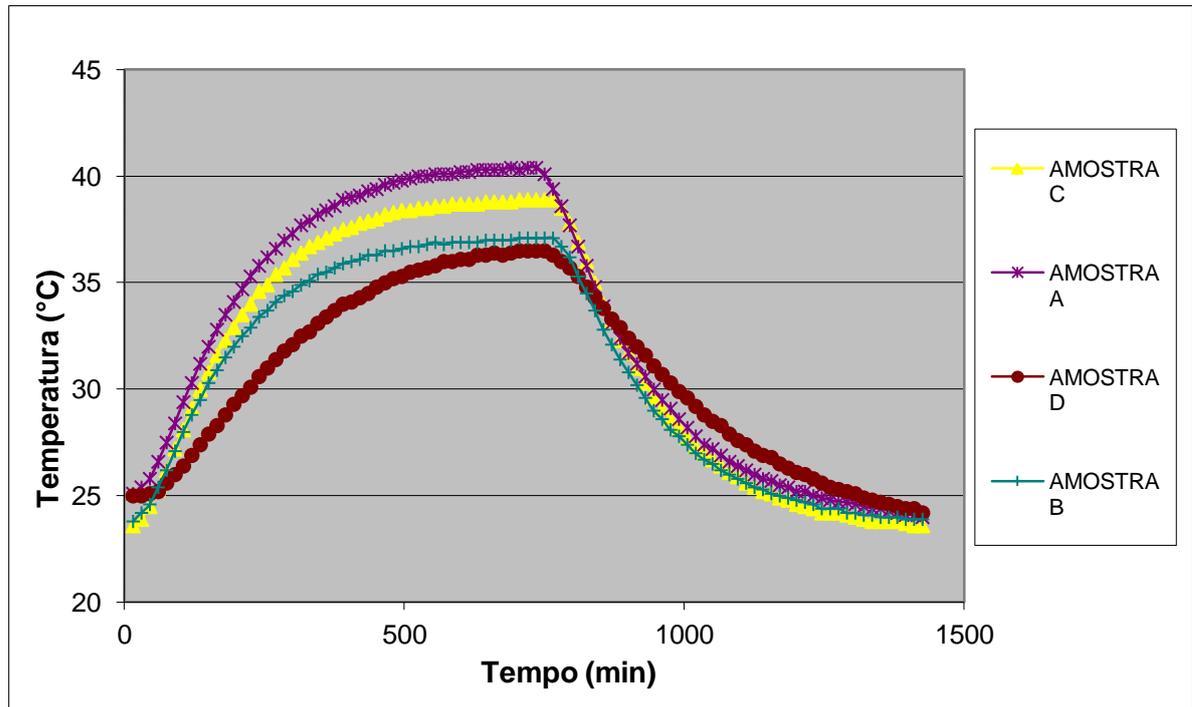
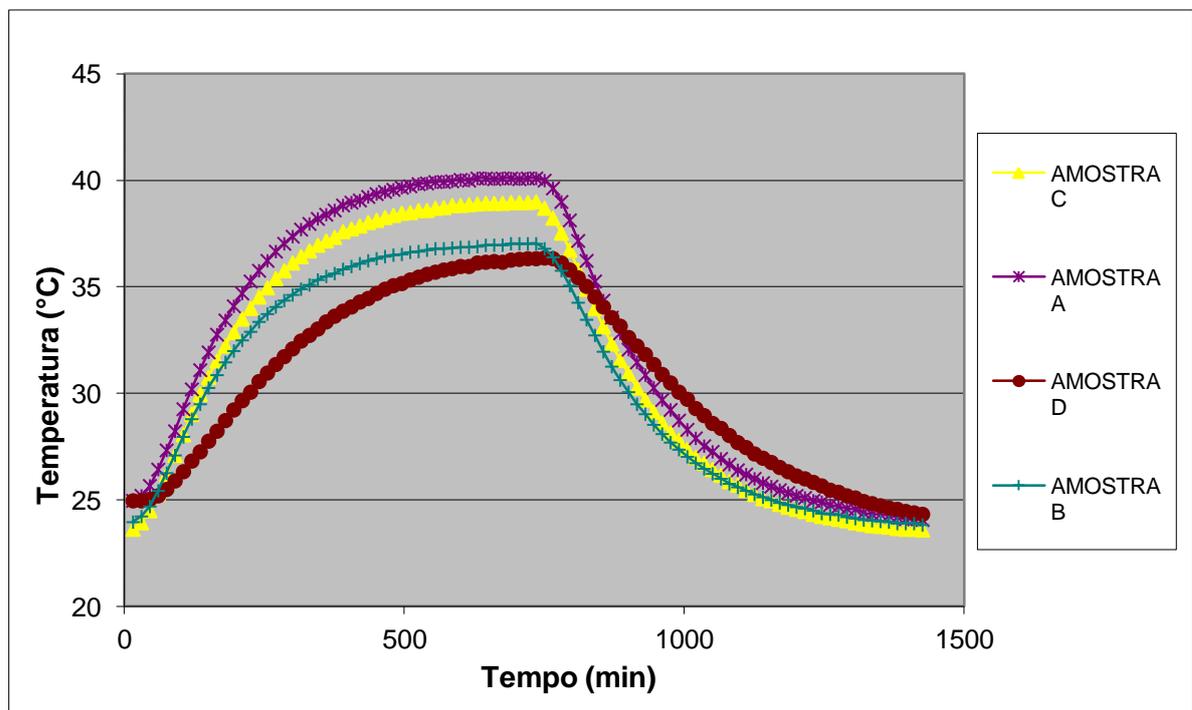


Gráfico 16: Temperatura no meio da câmara - média.



As temperaturas registradas no meio da câmara apresentaram o mesmo comportamento nos testes com as amostras “A” e “C”, consequência das composições idênticas.

Apesar de apresentar comportamento comparável ao das amostras “A” e “C”, a amostra “B” resultou em menor aquecimento do interior da câmara, fato associado à maior resistência térmica do material. Como as fibras de bagaço de cana-de-açúcar retêm quantidades consideráveis de ar em seu interior, a resistência térmica da amostra é maior, reduzindo a passagem de energia entre o meio externo e o interior da câmara.

Durante o processo de aquecimento, a amostra “D” proporcionou temperaturas no interior da câmara abaixo das demais amostras. Contudo, seu processo de resfriamento foi mais lento (devido à maior capacidade térmica do material). A temperatura máxima no meio da câmara (40,1 °C) foi atingida nos testes com a amostra “A”, enquanto com a amostra “D” atingiu 36,3 °C. Evidenciou-se que amostras com câmara de ar interna (“A”, “B” e “C”) possuem menor densidade e, portanto menor capacidade térmica, resultando em temperaturas superiores à amostra maciça “D”.

4.3.4 Temperatura no piso da câmara

Nos gráficos 17 a 20 apresentam-se as curvas de aquecimento e resfriamento do piso das câmaras de testes.

Gráfico 17: Temperatura no piso da câmara - 2° e 5° dia.

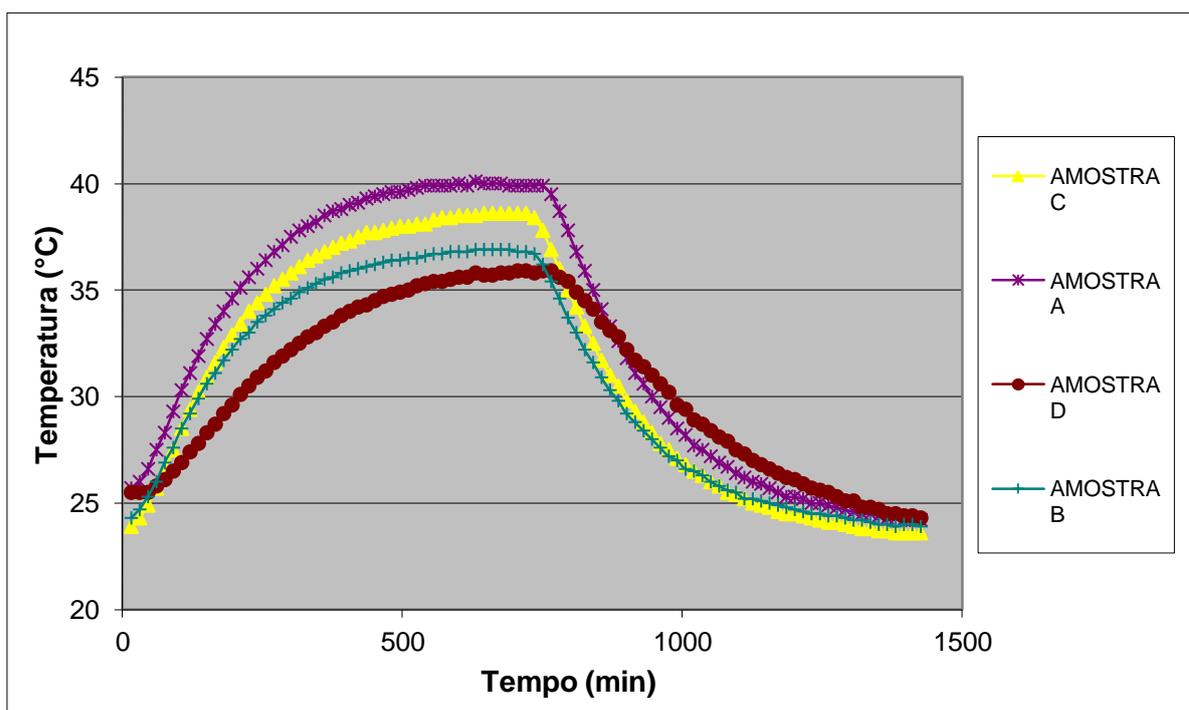


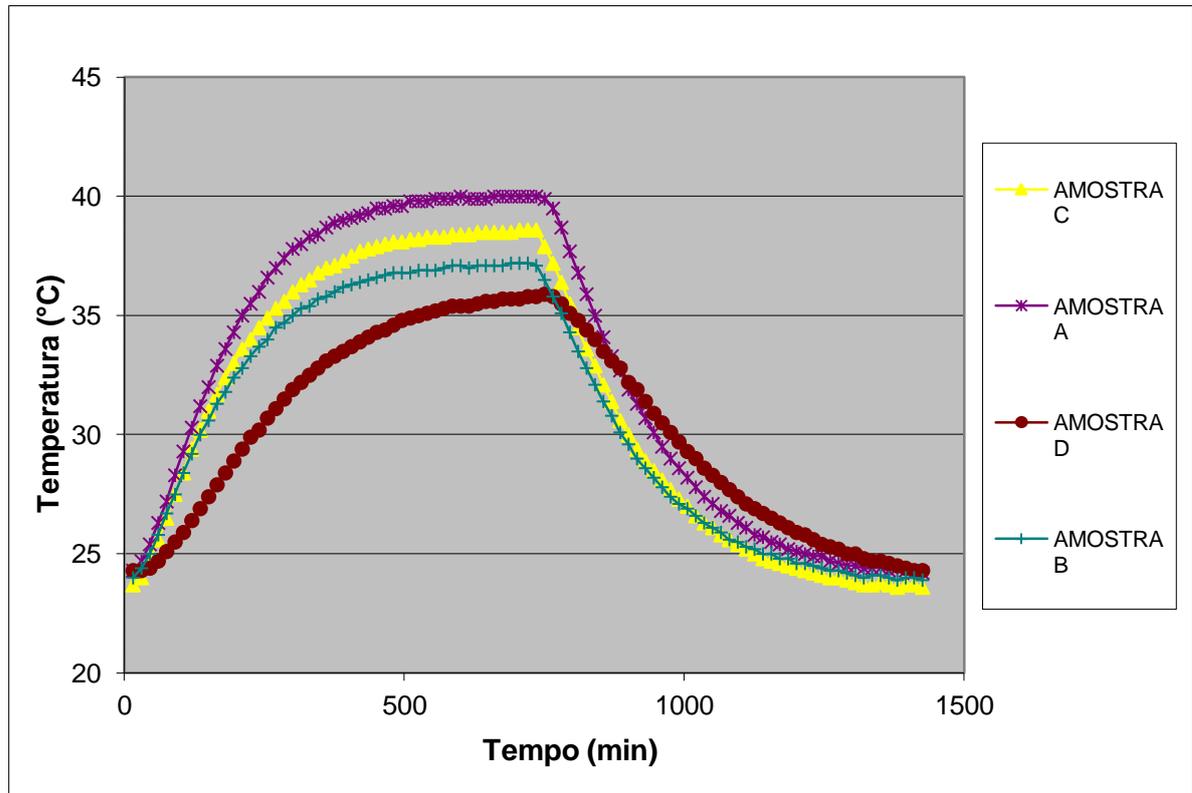
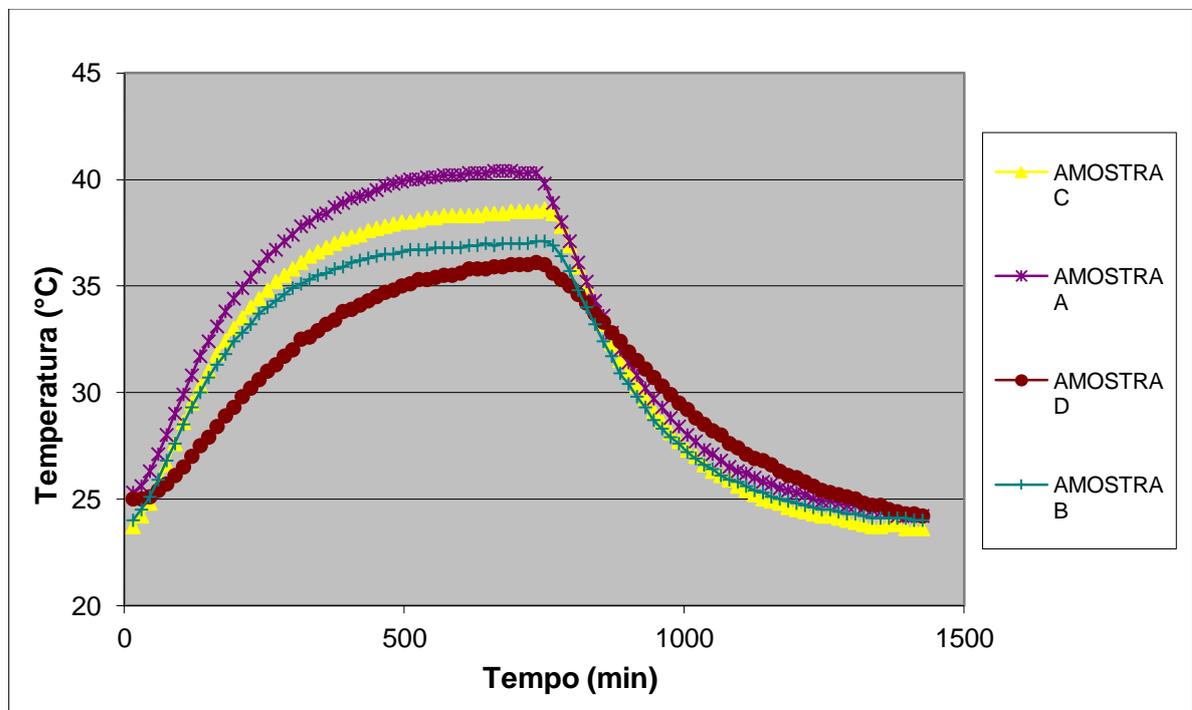
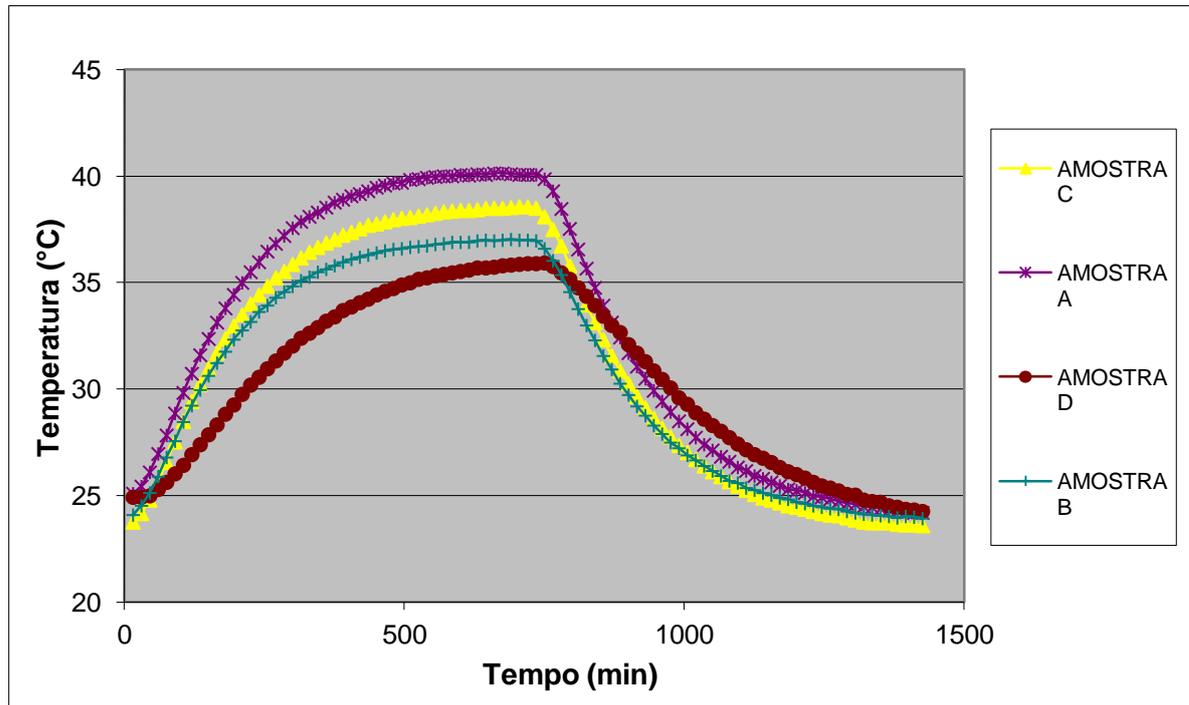
Gráfico 18: Temperatura no piso da câmara - 3° e 6° dia.**Gráfico 19: Temperatura no piso da câmara - 4° e 7° dia.**

Gráfico 20: Temperatura no piso da câmara - média.



Independente do tipo de amostra, as curvas apresentaram os mesmos comportamentos nos três testes realizados, tanto na etapa de aquecimento como na de resfriamento e, em geral, não diferiram muito das curvas obtidas para as temperaturas do meio da câmara, evidenciando coerência nos resultados.

4.4 Monitoramento *in loco*

Os resultados do monitoramento do comportamento térmico do protótipo foram transferidos para planilhas eletrônicas, nas quais foram criados gráficos com intervalos horários de temperatura do ar interno e externo, objetivando comparar a predição de temperatura do ar interna e externa e classificar as condições de o conforto térmico interno.

Para análise dos resultados do monitoramento, escolheu-se uma sequência de registros horários interruptos entre o período de 19 a 21 de agosto/2011 para avaliação dos dados, expostos a seguir:

Gráfico 21: Temperaturas internas e externas da sala.

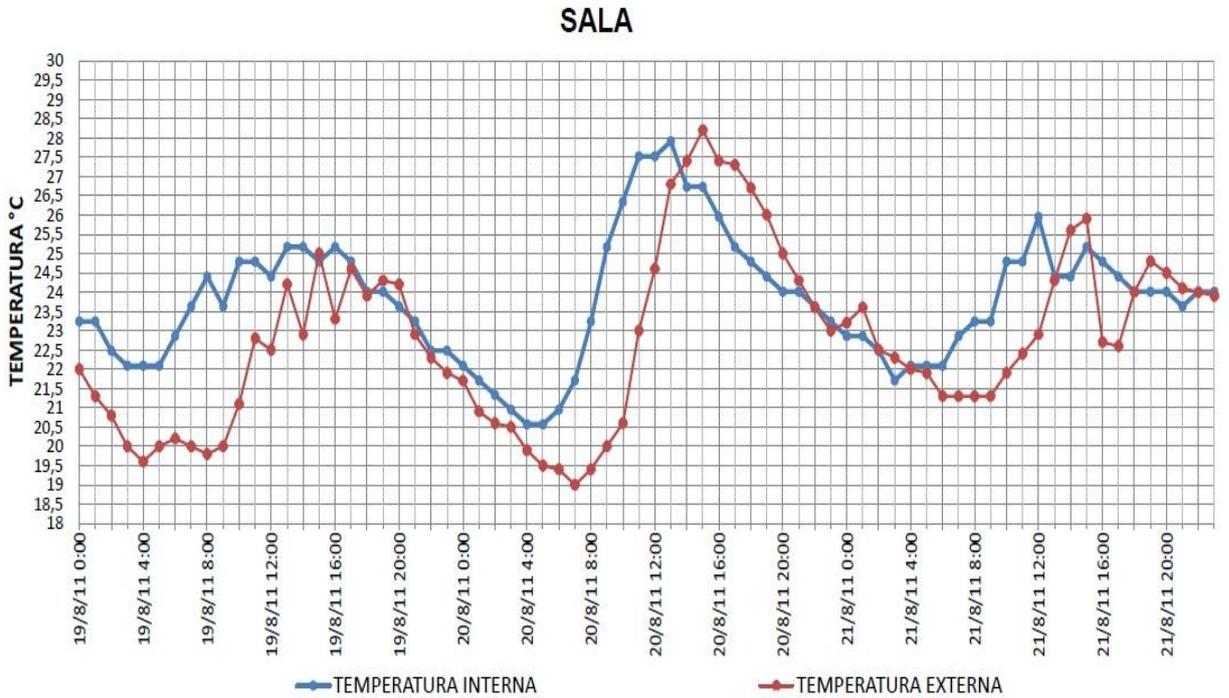
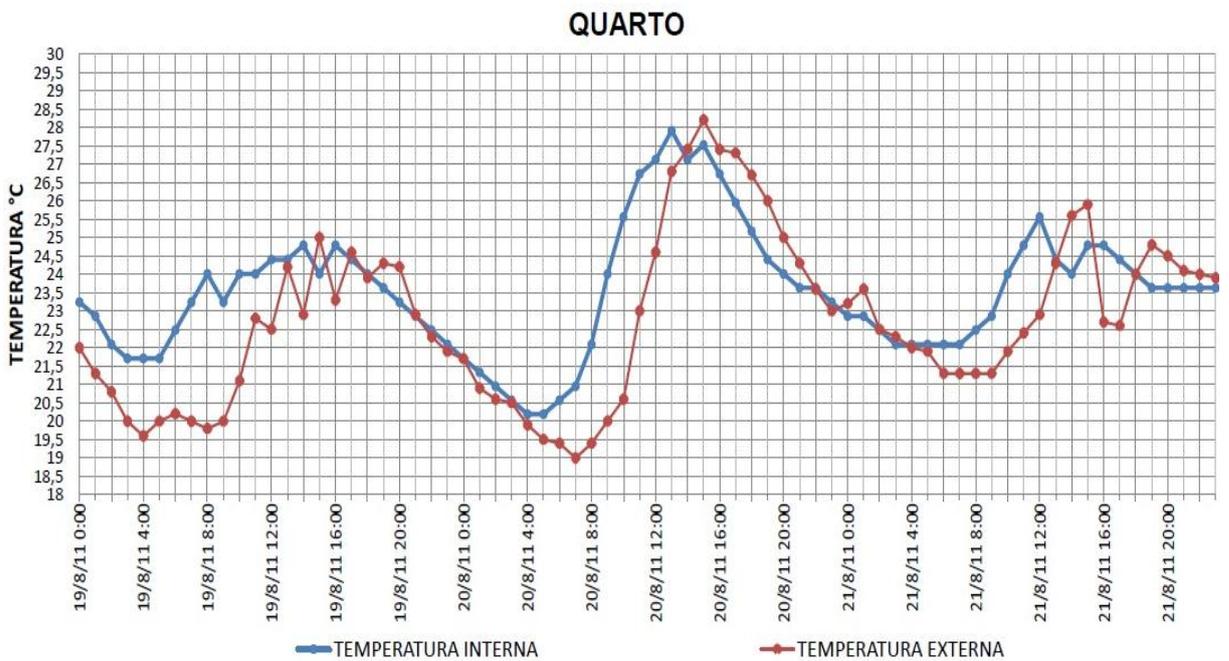


Gráfico 22: Temperaturas internas e externas do quarto.



De acordo com os dados obtidos, a máxima temperatura foi registrada no quarto, no dia 20/08/11 às 13:00h com o valor de 27,91°C, nesse mesmo instante a temperatura externa registrou o valor de 26,80 °C.

A temperatura mínima do protótipo foi registrada no quarto no dia 20/08/11 às 4:00h e às 5:00h com o valor de 20,19 °C, nesse mesmo instante a temperatura da sala também atingiu seu valor mínimo, registrando 20,57 °C, enquanto que a temperatura externa registrou o valor médio de 19,70 °C.

Na sala a temperatura máxima registrada ocorreu no dia 20/08/11 às 13:00h com o valor de 27,91 °C.

A temperatura externa atingiu seu valor máximo no dia 20/08/11 às 15:00h, registrando 28,2 °C. Nesse mesmo instante a temperatura do quarto atingiu 27,52 °C (com amortecimento de 0,68 °C) e da sala 26,73 °C (com amortecimento de 1,47 °C).

A temperatura externa atingiu seu valor mínimo no dia 20/08 às 7:00h, registrando 19 °C. Nesse mesmo instante a temperatura do quarto atingiu 20,95°C e a temperatura da sala 21,71°C.

Gráfico 23: Temperaturas internas da sala confrontados com os valores de conforto de Rivero (1985).

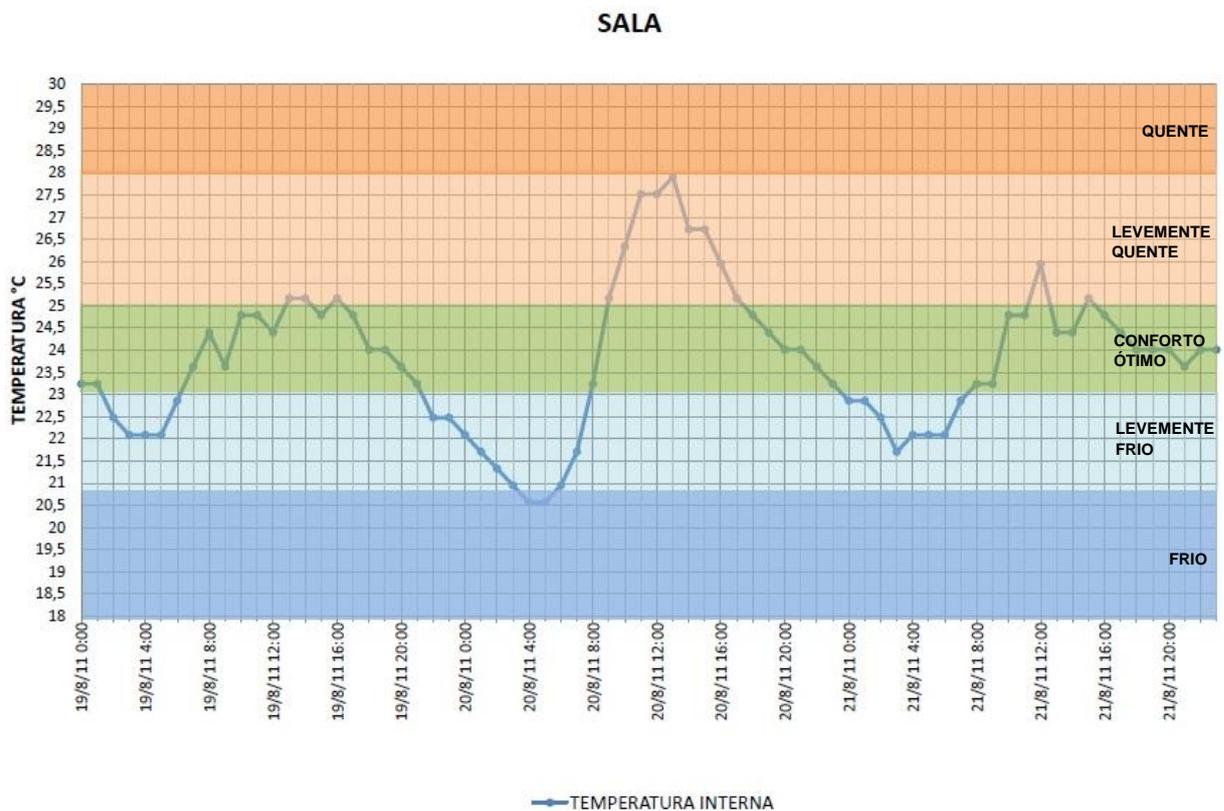
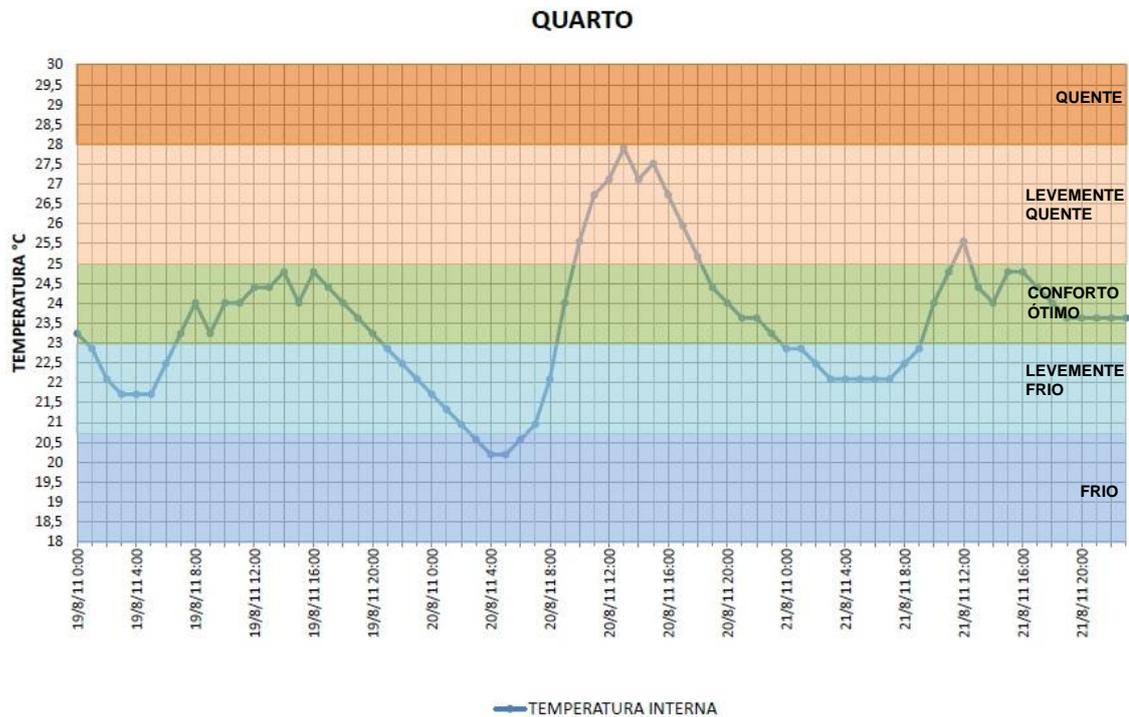


Gráfico 24: Temperaturas internas do quarto confrontados com os valores de conforto de Rivero (1985).

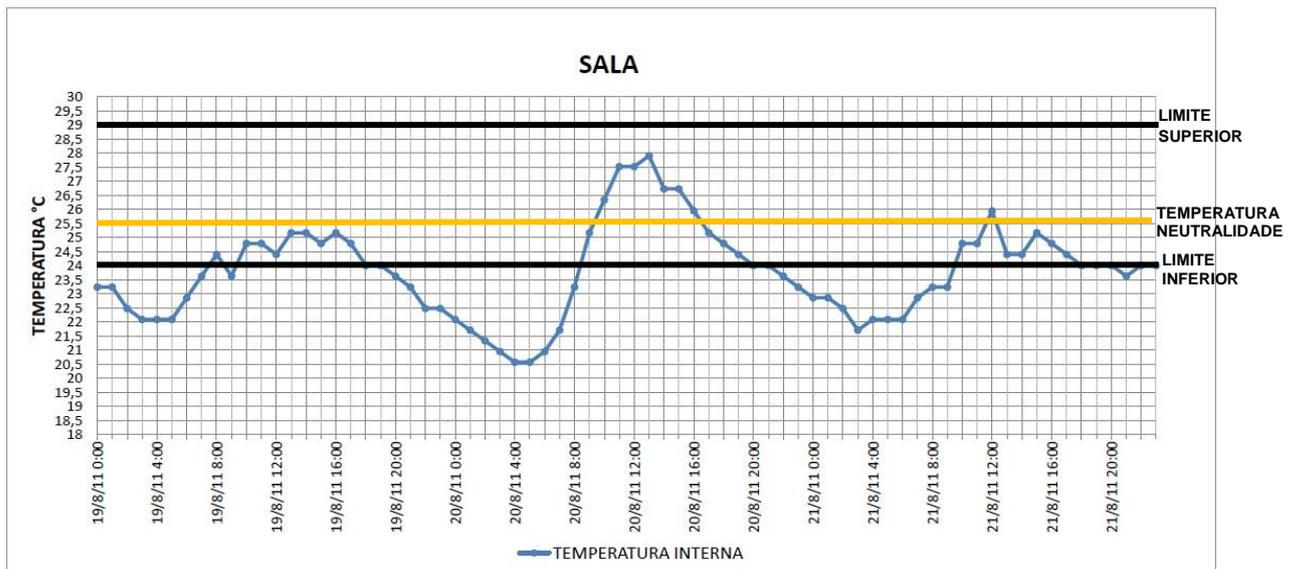


Quanto ao conforto térmico interno do protótipo, os gráficos 23 e 24 mostram que na sala nos dias 19/08/11 e 21/08/11 obtiveram-se o conforto ótimo durante o período diurno, porém no dia 20/08/11, neste mesmo período, a sala apresentou-se levemente quente. O mesmo ocorreu no quarto, no qual durante todo o período diurno do dia 19/08/11 e 21/08/11 obtiveram-se o conforto ótimo, e no dia 20/08 o ambiente apresentou-se levemente quente devido ao aumento excessivo da temperatura externa.

Na sala assim como no quarto, a maioria dos períodos noturnos permaneceu levemente frio, exceto entre às 3:00h e às 6:00h do dia 20/08/11 que apresentou-se frio. Este resultado deve-se ao fato de que o período da noite e da madrugada apresenta-se geralmente com temperaturas mais baixas, aliado ao fato de que as janelas permanecerem abertas durante toda a medição.

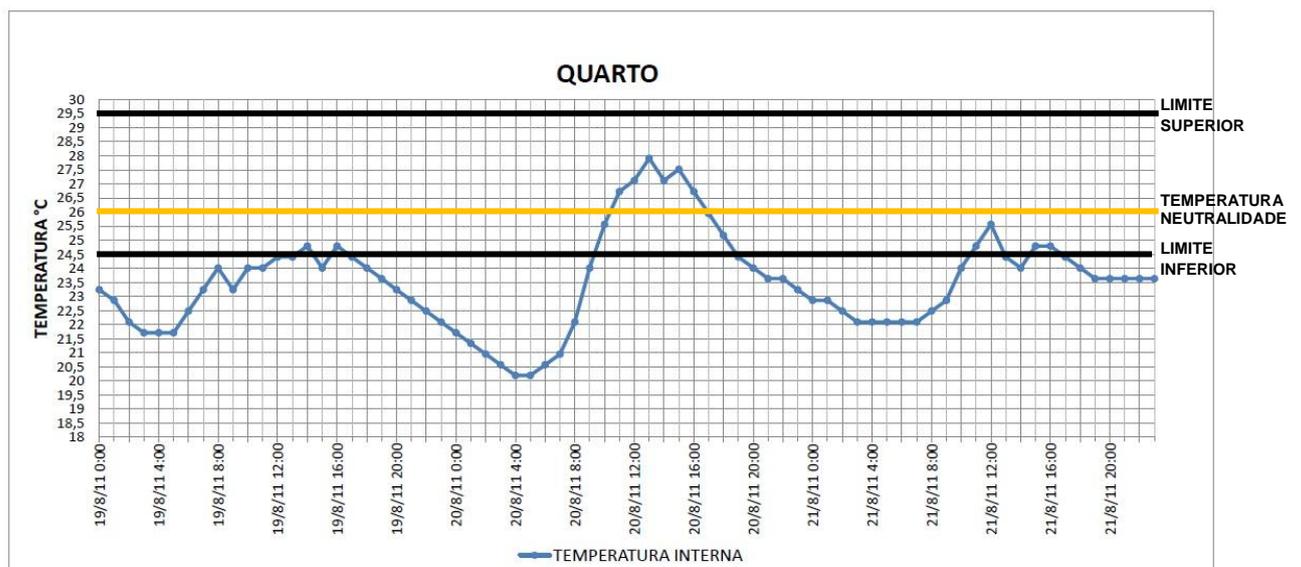
Quanto às condições de conforto térmico interno no protótipo analisado, a aplicação dos valores descritos por Peeters et al. (2009) mostrou que, para demais cômodos (sala) a temperatura de neutralidade é de 25,5 °C, a temperatura limite superior é de 29,1 °C e a temperatura limite inferior é de 24,1 °C. Observa-se que 26,06 % das horas analisadas permaneceram dentro do limite de conforto estabelecido (gráfico 25).

Gráfico 25: Temperaturas internas da sala plotados sobre os índices de Peeters et al (2009).



Para o quarto a temperatura de neutralidade é de 26,0 °C, a temperatura limite superior é de 29,5 °C e a temperatura limite inferior é de 24,5 °C. Observa-se que apenas 20,60 % das horas analisadas permaneceram dentro do limite de conforto estabelecido (gráfico 26).

Gráfico 26: Temperaturas internas do quarto plotados sobre os índices de Peeters et al (2009).



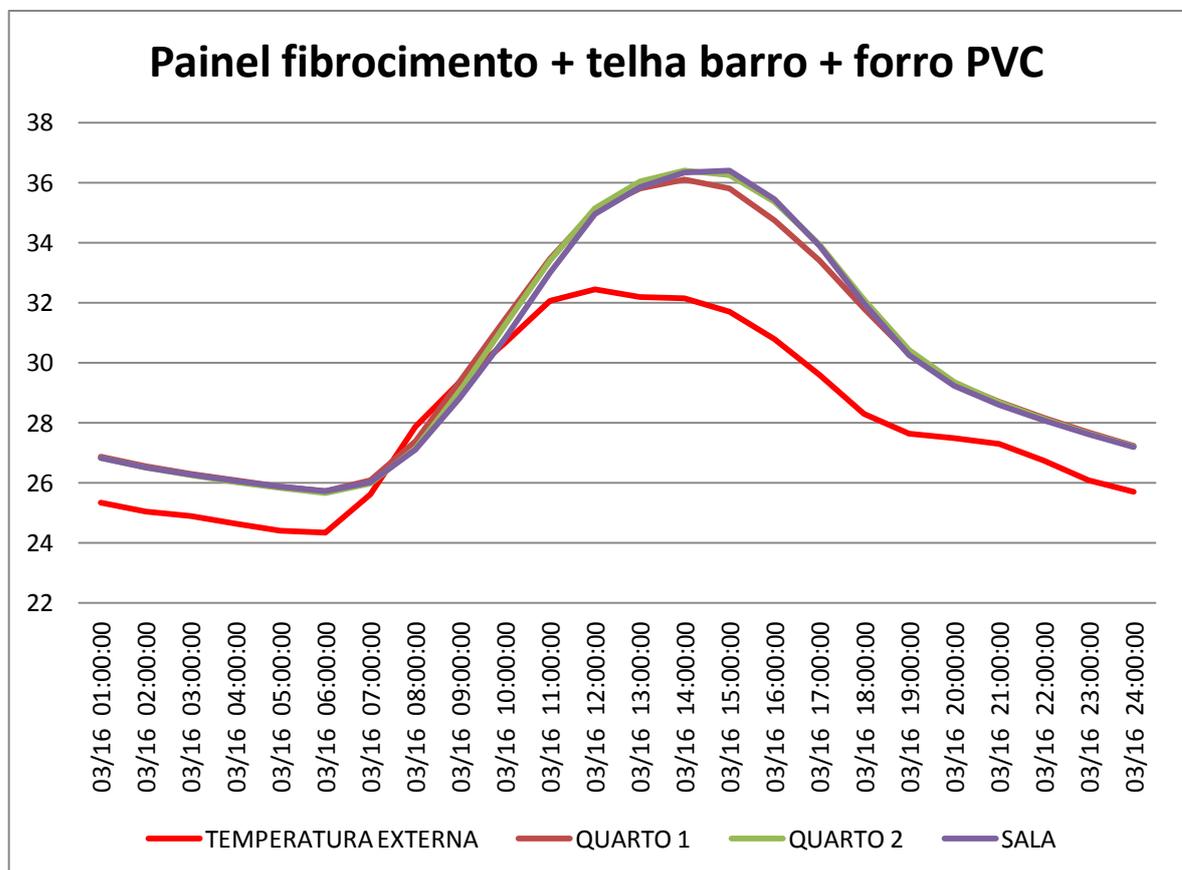
Os resultados obtidos pelo monitoramento *in loco* foram importantes para a compreensão do comportamento térmico da edificação, uma vez pode-se analisar o

desempenho de uma edificação real constituída com os painéis produzidos com fibrocimento.

4.5 Simulação computacional

Na simulação 1 (gráfico 27) o comportamento térmico da sala e dormitórios apresentou resultados semelhantes. A temperatura externa manteve-se abaixo da interna durante quase todo o dia, com exceção das 8:00h quando a temperatura externa atingiu 27,86 °C, apresentando o valor um pouco maior que as temperaturas registradas no interior da edificação. A temperatura máxima interna foi registrada às 15:00h com o valor de 36,40 °C. Neste mesmo instante, a temperatura externa correspondia a 31,69 °C. Observa-se que o atraso térmico entre a temperatura máxima interna e a temperatura máxima externa foi de duas horas. Porém não houve amortecimento da temperatura, fato que ratifica os resultados da análise de desempenho térmico realizada em laboratório, que comprovou que a câmara de ar existente no painel produzido com fibrocimento aumenta a capacidade térmica do mesmo. Portanto, nesta simulação, a edificação não atingiu o nível M desempenho recomendado pela NBR 15575 (ABNT, 2013).

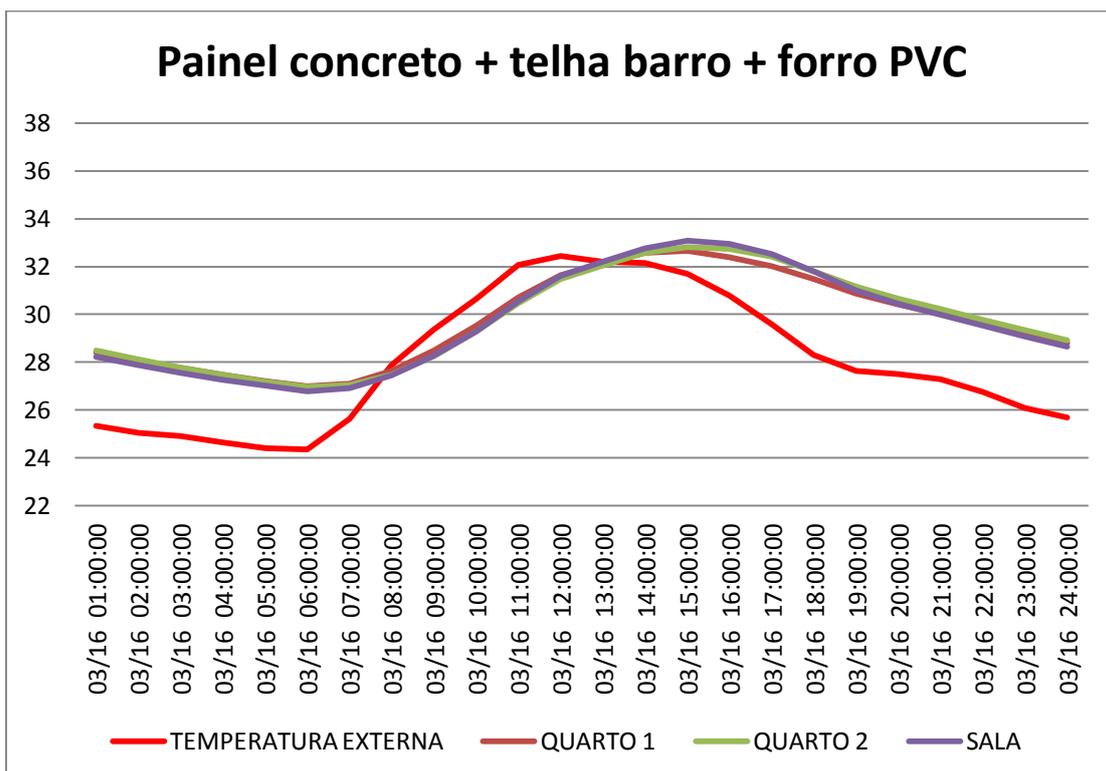
Gráfico 27: Simulação 1 - dia típico de verão (16 março).



Com o finalidade de comparar o comportamento térmico de uma edificação constituída com o painel de fibrocimento com um elemento de vedação vertical usualmente utilizado no mercado da construção civil, foi realizada a simulação 2 (gráfico 28), substituindo-se o painel produzido com fibrocimento por um painel de concreto maciço de 10 cm de espessura.

Como visto na análise de desempenho térmico realizada em laboratório, o painel de concreto possui maior densidade, e conseqüentemente, maior capacidade térmica, que justifica a diminuição de 3 °C na temperatura interna máxima e o aumento de 1 °C na temperatura mínima registrada no interior da edificação quando comparada à simulação 1. O valor máximo da temperatura interior foi registrado às 15:00h (33,07 °C). Neste mesmo instante, a temperatura externa registrou 31,69 °C. Nota-se que houve um atraso térmico de 3h. Como o valor máximo da temperatura do ar interior permaneceu superior ao valor máximo da temperatura do ar exterior, a edificação constituída por painel de concreto não atendeu ao nível M desempenho recomendado pela NBR 15575 (ABNT, 2013). No período noturno, as temperaturas internas do ambiente simulado são reduzidas, porém mantêm-se superiores às temperaturas externa, registrando uma diferença de 3 °C entre ambas.

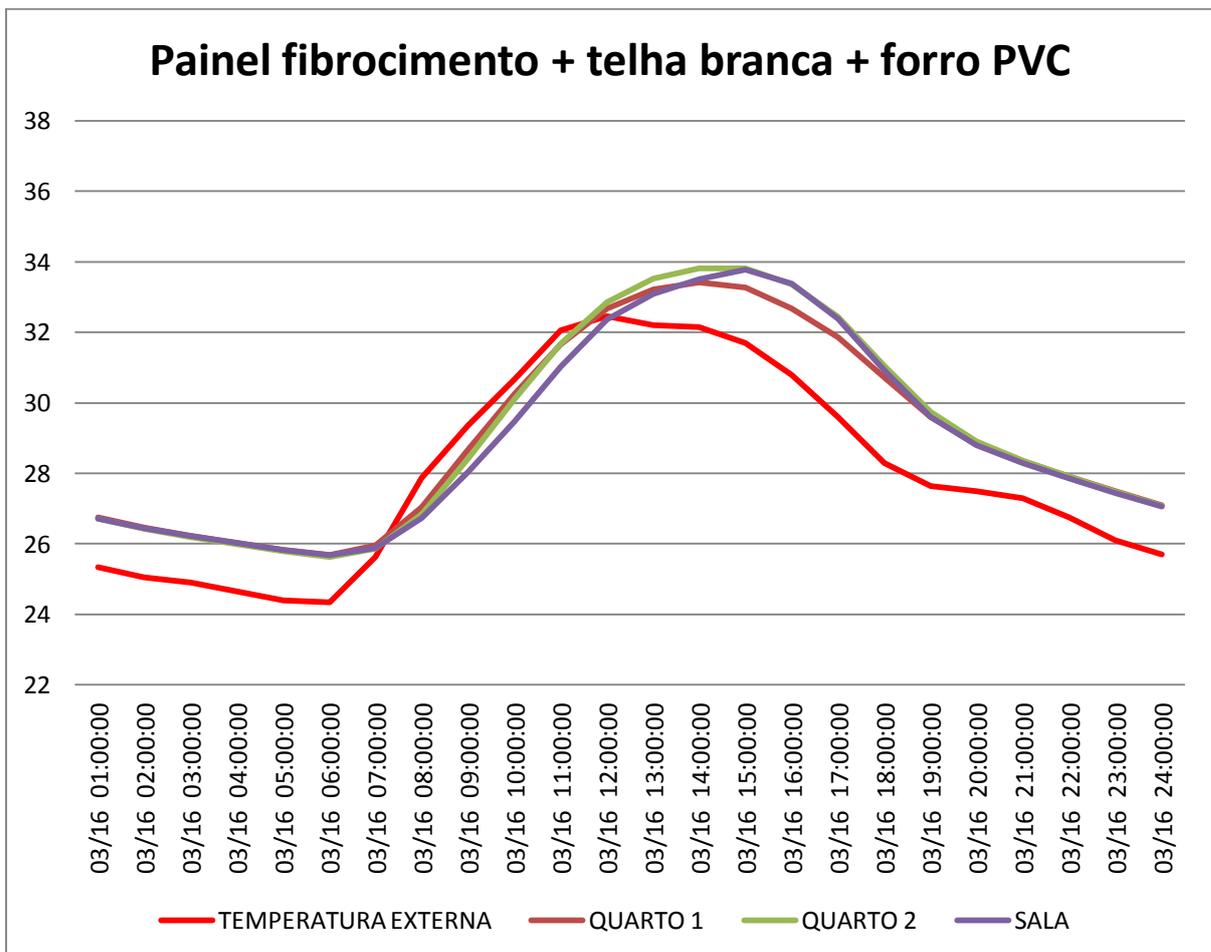
Gráfico 28: Simulação 2 - dia típico de verão (16 março).



Na simulação 3 (gráfico 29) a análise computacional foi realizada na mesma edificação constituída pelos painéis produzidos com fibrocimento, substituindo a telha de barro por uma telha com pintura branca.

Observa-se que houve uma diminuição da temperatura máxima no interior da edificação: 33,81 °C, quando comparada a simulação 1, e que o valor da temperatura externa manteve-se acima do valor da temperatura interna durante um período mais prolongado: das 7:00h às 11:00h. Tais ocorrências devem-se ao fato de que em regiões de baixas latitudes, a maior parte dos ganhos térmicos acontece através dos componentes de cobertura. Como a telha recebe diretamente a carga térmica que é transmitida para a edificação a absorvância deste componente passa a ser peça fundamental para o bom desempenho térmico da mesma (JARDIM, 2011). Sendo assim, a telha com pintura branca absorveu menos calor, reduzindo os valores da temperatura no interior da edificação.

Gráfico 29: Simulação 3 - dia típico de verão (16 março).

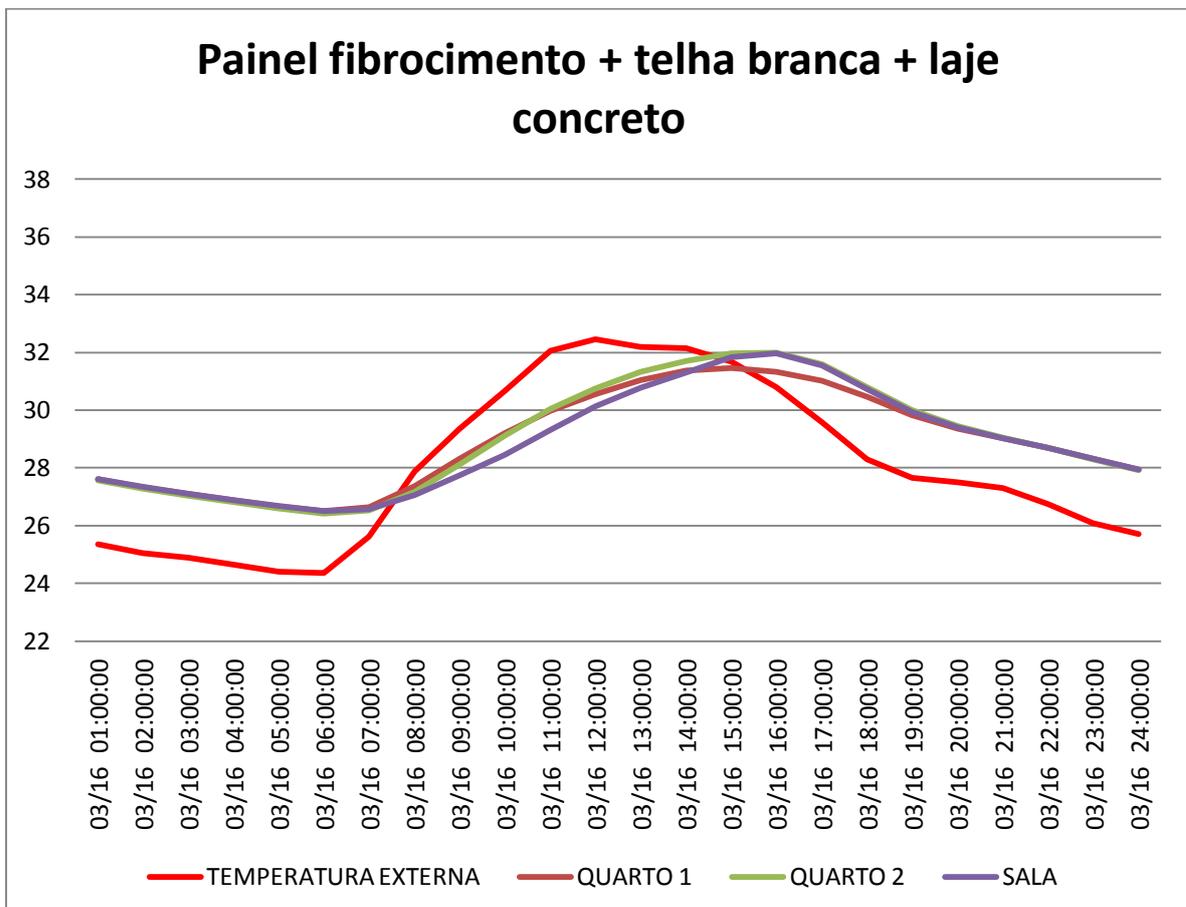


Na simulação 4 (gráfico 30) o forro de PVC existente na edificação foi substituído por uma laje de concreto de 10cm de espessura e permaneceram o painel produzido com fibrocimento e a telha branca.

É notória a diminuição dos valores da temperatura no interior da edificação, que atingiu seu valor máximo (31,99 °C) às 16:00h. A presença da telha branca aliada à laje de concreto possibilitou a inércia térmica no interior da unidade habitacional.

De acordo com Granja (2002), o aumento da espessura dos materiais gera a diminuição da absorção dos mesmos. Verificou-se, portanto, que a laje de concreto de 10 cm de espessura foi a grande responsável em garantir o nível de desempenho M recomendado pela NBR 15575 (ABNT, 2013), uma vez que a temperatura externa apresentou seu valor máximo (32,44 °C) superior a temperatura interna máxima.

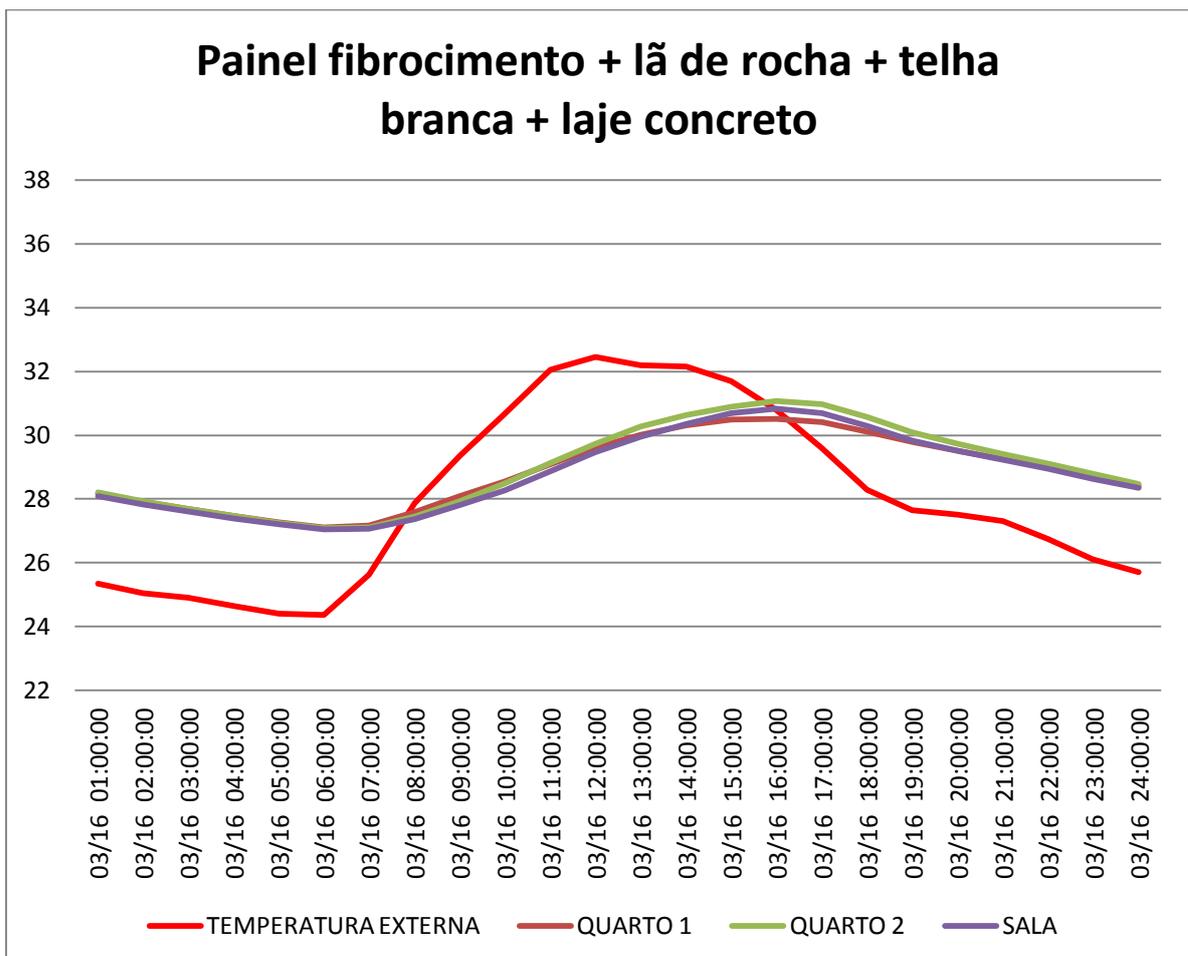
Gráfico 30: Simulação 4 - dia típico de verão (16 março).



Objetivando-se aprimorar o desempenho térmico do painel de vedação produzido com fibrocimento, foi inserido no espaço vazado do painel, lã de rocha, que é um isolante térmico bastante utilizado no mercado da construção civil.

Comparando às simulações anteriores, na simulação 5 (gráfico 31) foi registrado o menor valor da temperatura interna máxima (31,07 °C às 16:00h), assim como a menor amplitude térmica. Observou-se também um maior amortecimento térmico (1,47 °C), que garantiu o desempenho I (denominado intermediário) preconizado pela NBR 15575 (ABNT, 2013), no qual a temperatura interna máxima é menor ou igual a temperatura externa máxima menos 1 °C. Portanto, a lã de rocha inserida nos espaços vazados do painel, aliada à telha branca e à laje de concreto obteve o melhor resultado de desempenho térmico da edificação devido as propriedades térmicas intrínsecas de cada componente.

Gráfico 31: Simulação 5 - dia típico de verão (16 março).



Os gráficos a seguir (gráfico 32 e 33) apresentam as variações do comportamento térmico anual no interior do quarto 01 e da sala da edificação analisada na simulação 1 (parede fibrocimento, telha de barro e forro de PVC), cujo os resultados são inseridos sobre os limites de conforto estabelecidos através da metodologia de Peeters et al (2009).

No gráfico 32, 53,53 % das horas analisadas encontram-se dentro do limite de conforto estabelecido. Já no gráfico 33 verifica-se que 50,92 % das horas analisadas apresentaram-se dentro do limite de conforto estabelecido. Observou-se em ambos os gráficos que durante o período de inverno teve-se um número maior de horas de conforto do que no verão.

Gráfico 32: Simulação do comportamento anual da temperatura do ar na sala.

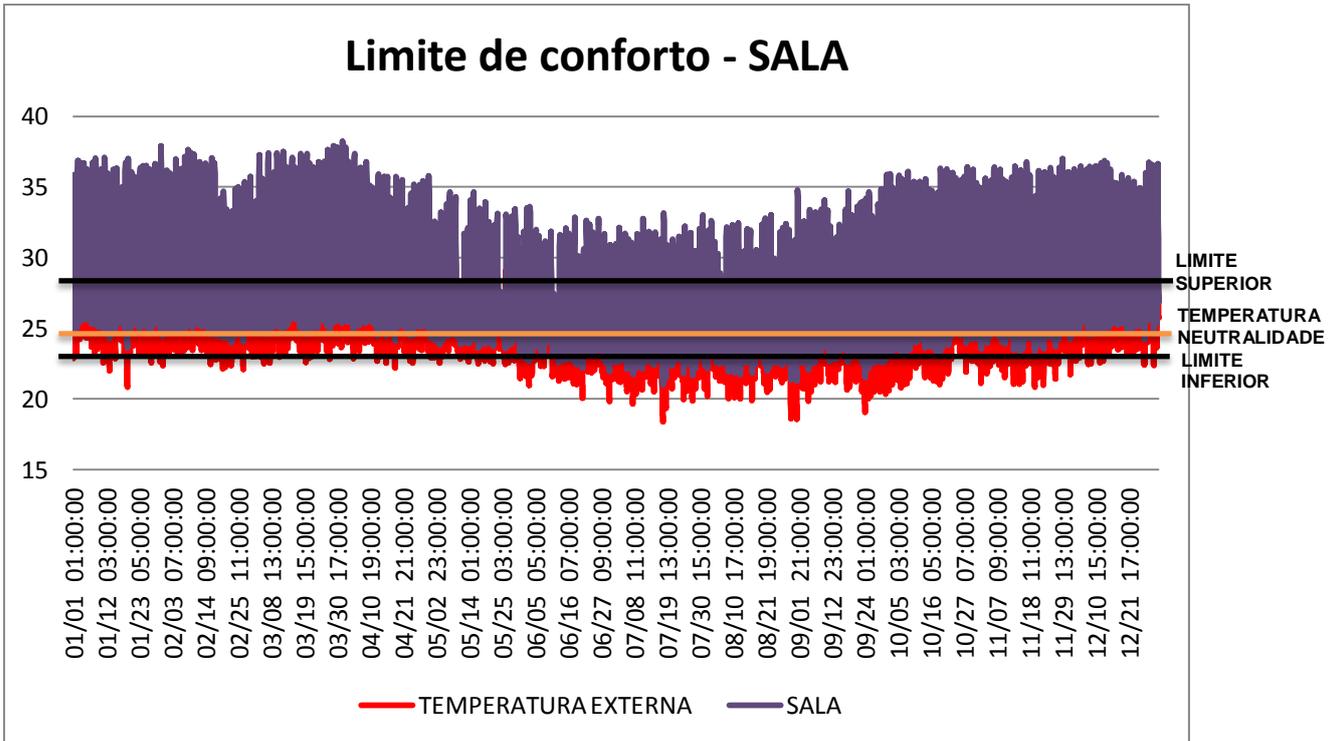
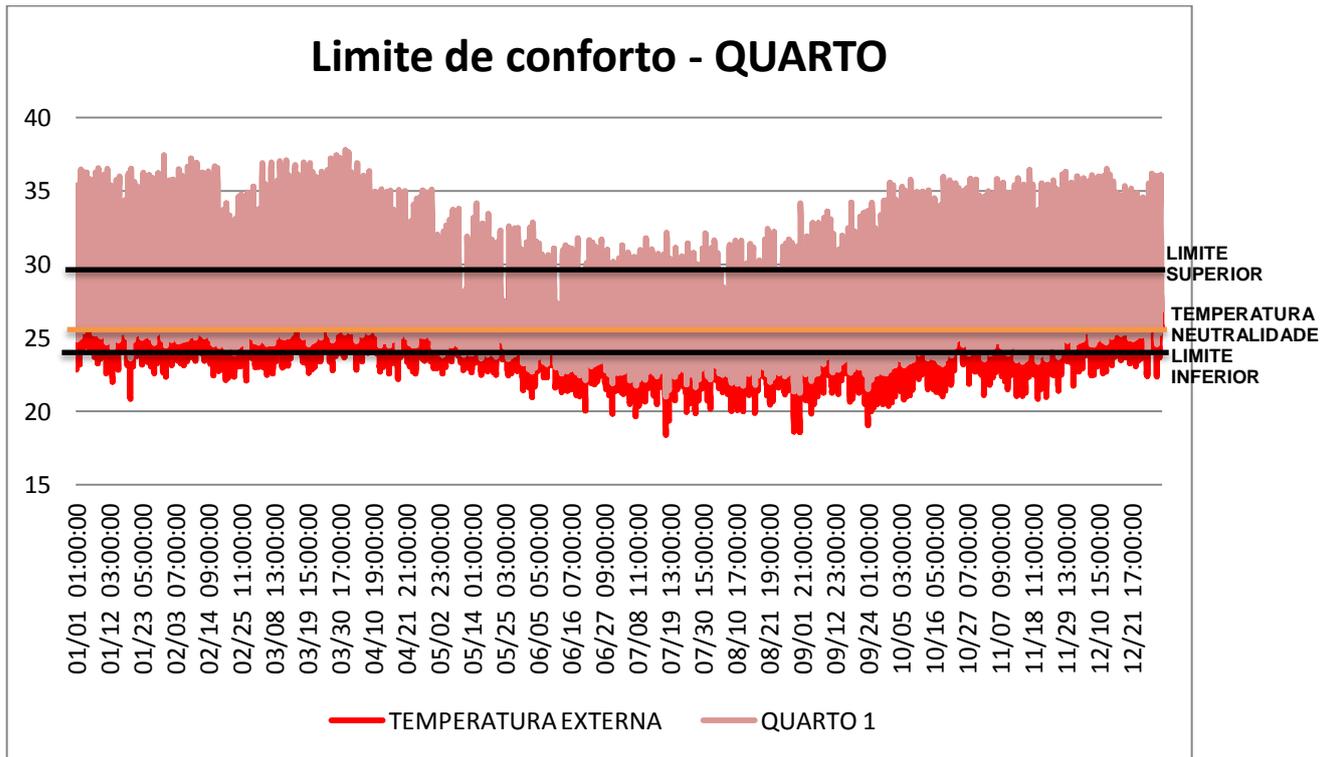


Gráfico 33: Simulação do comportamento anual da temperatura do ar no quarto.



A tabela 11 apresenta a síntese dos resultados obtidos a partir das simulações computacionais:

Tabela 11: Síntese dos resultados – Simulação computacional.

	Simulação 1	Simulação 2	Simulação 3	Simulação 4	Simulação 5
Atendimento à NBR 15575 (ABNT, 2013)	Não	Não	Não	Sim	Sim
Valor médio temperatura interna da sala	29,95°C	29,70°C	29,02°C	28,86°C	28,80°C
Valor médio temperatura interna do quarto 01	29,97°C	29,71°C	29,07°C	28,91°C	28,83°C
Valor médio temperatura interna do quarto 02	30,02°C	29,76°C	29,16°C	29,01°C	28,97°C
% de horas confortáveis segundo Peeters et al (2009) - sala	52%	48%	60%	60%	60%
% de horas confortáveis segundo Peeters et al (2009) - quartos	41,66%	45,83%	62,5%	62,5%	66,66%

5 CONCLUSÕES

Nesta pesquisa avaliou-se o desempenho térmico de um sistema de vedação produzido com painéis de fibrocimento a partir da análise das propriedades termofísicas do material, do desempenho térmico do componente e das condições térmicas internas de uma edificação construída com os painéis, sob as condições climáticas de exposição de Maceió-AL por meio de monitoramento *in loco* e simulação computacional.

Observou-se na análise das propriedades termofísicas que o material demonstrou desempenho superior ao do concreto para aplicação na zona bioclimática 8. Também mostrou-se adequado para o uso de todas as zonas bioclimáticas quando calculou-se a resistência e a transmitância térmica do componente.

Quanto à análise laboratorial de desempenho térmico, verificou-se que as amostras com câmara de ar interna (painel produzido com fibrocimento) possuem menor densidade e, conseqüentemente, menor capacidade térmica, resultando em temperaturas superiores à amostra padrão (painel de concreto). O painel de concreto, que possui maior densidade, conteve a onda de calor durante o aquecimento, porém resfriou-se mais lentamente que as amostras com câmara de ar.

De uma maneira geral, os resultados obtidos na simulação computacional indicaram um melhor desempenho da edificação constituída pelo painel de concreto. Porém, vale ressaltar que apesar do painel de concreto proporcionar temperaturas mais amenas na sala, o percentual de horas confortáveis, segundo Peeters et al. (2009) neste mesmo ambiente apresentou-se menor (48 %) quando comparado ao painel produzido com fibrocimento (52 %).

Tanto na análise laboratorial de desempenho térmico como na simulação computacional constatou-se que o espaço de ar existente no interior do painel produzido com fibrocimento é o elemento responsável pelo armazenamento de calor que provoca o aumento da temperatura no interior da edificação, que é intensificada pelas paredes relativamente delgadas que compõe o painel de vedação. Ainda nas simulações computacionais, observou-se que o tipo de material que compõe a cobertura é de fundamental importância para garantir um bom desempenho térmico em edificações localizadas na zona bioclimática 8. E que o painel produzido com

fibrocimento tem o potencial de garantir um nível de desempenho I (denominado intermediário) considerado pela NBR 15575 (ABNT, 2013) quando aliado a um elemento isolante em seu interior e associado aos elementos de cobertura analisados.

Vale ressaltar que esta pesquisa poderá ser aprofundada em estudos futuros, onde pode se analisando o desempenho térmico do painel produzido com fibrocimento associado a isolantes térmicos com o objetivo de garantir melhor desempenho térmico à edificações de interesse social situadas na zona bioclimática 8.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – **NBR 15220-1/2/3. Desempenho térmico de edificações.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____ – **NBR 15575. Edifícios habitacionais até cinco pavimentos – desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas.** Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASTM - **D 5334-00. Standard Test Method for Determination of Thermal Conductivity of Soil and Soft Rock by Thermal Needle Probe Procedure.** 2004.

ATAÍDE, Élen Silva; SOUZA, Henor Artur de. Avaliação de Desempenho Térmico utilizando o Programa Energyplus: Estudo de caso do Prédio da Prefeitura Municipal de Mariana-MG. In: **Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído, 2009**, São Carlos. São Paulo.

BARBOSA, Miriam Jerônimo; LAMBERTS, Roberto. Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares, aplicada a Londrina-PR. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.2, n1, p.15-28, jan/mar 2002.

BARTH, Fernando; VEFAGO, Luiz Henrique M. Fachadas pré-fabricadas de GRC. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/08.092/178>> Acessado em 24 out. 2012.

BARTH, Fernando; MARCELLINO, Narbal Altaliba; VEFAGO, Luiz Henrique Maccarini; RICHTER, Cintia Brandão. Sistema construtivo com painéis pré-fabricados com blocos cerâmicos para habitações de interesse social. In: **II Congresso Brasileiro e I Iberoamericano Habitação Social - Ciência e Tecnologia, 2006**, Florianópolis. Santa Catarina.

BATISTA, Juliana Oliveira; LAMBERTS, Roberto. Classificação do desempenho térmico da casa eficiente: avaliação segundo as normas brasileiras. In LAMBERTS, R. et al (ed). **Casa Eficiente: Bioclimatologia e Desempenho Térmico.** Florianópolis: UFSC/LabEEE; 2010, p. 19-35.

BATISTA, Juliana Oliveira; LAMBERTS, Roberto; GÜTHS, Saulo. Influência dos algoritmos de condução e convecção sobre os resultados de simulação do comportamento térmico de edificações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n.4, p.79-97, out/dez 2011.

BEZERRA, Luciano André Cruz. **Análise do desempenho térmico de sistema construtivo de concreto com EPS como agregado graúdo.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2003.

BORGES, Jacques Cousteau da Silva. 2009.80f. **Compósito de mamona e vermiculita para isolamento térmica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia mecânica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2009.

BRASKEM. **Sistema construtivo Concreto PVC**. Disponível em: <http://www.concretopvc.com.br/site/sites_braskem/pt/concreto_pvc/home/home.aspx> Acessado em 12 de junho de 2010.

BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas 1961-1990**. Brasília: DNMET, 1992. 84p

BRASIL, Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Habitação. **Déficit habitacional no Brasil 2008**. Brasília: Ministério das Cidades, 2011.

_____. **Política Nacional de Habitação**. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/index.php/politica-nacional-de-habitacao-pnh>. Acessado em 20 de outubro de 2012.

_____. **Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat-PBQP-H**. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/index.php/programas-e-aco/es/511-programa-brasileiro-de-qualidade-e-produtividade-do-habitat-pbqp-h>. Acessado em 20 de outubro de 2012.

BRAUS Group. Manual técnico OCATAN. 2012

COSTA, Sammea Ribeiro Granja Damasceno. **Desempenho térmico e habitação: uma avaliação comparativa no contexto climático da zona bioclimática 8**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do espaço Habitado). Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2011.

CURCIO, Daniela da Rosa. **Desempenho termo-energético de Habitações de Interesse Social produzidas pelo Programa de Arrendamento Residencial – PAR na cidade de Pelotas/RS**. Pelotas, 2011. 180p. Dissertação. (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo – Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas.

DECAGON DEVICES, Inc. Operator's Manual, version 10. S/D

DIGIACOMO, MARIUZZA Carla. **Estratégias de projeto para a habitação social flexível**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004.

DORNELLES, Kelen Almeida. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílicas e PVA**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e

Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008.

ENERGYPLUS manual, version 1.2.3.: the board of trustees of the University of Illinois and the regent of the University of California. [s.l.: s.n.], 2005.

FEIJÓ, Taynah Teles; BARBIRATO, Ginna Melo; LOPES, Daniel Bruno Silva; MARINHO, George Santos. Análise de propriedades termofísicas de compósito de cimento e fibra vegetal. **Química dos materiais**, Natal. (NO PRELO).

FERREIRA, Carlos Renê Gomes. **Análise de propriedades térmicas e mecânicas de compósitos de argamassa e resíduo de borracha**. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia dos Materiais). Centro de Ciências exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2009.

Giglio, Thalita Gorban Ferreira; Barbosa, Mirian Jerônimo. Aplicação de métodos de avaliação do desempenho térmico para analisar painéis de vedação em madeira. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.6, n.3, p.91-103, jul/set 2006.

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

GONÇALVES, Willi de Barros; RIBEIRO, Márcia Agostini; ASSIS, Eleonora Sad de; ZAMORANO, Luiz Gustavo; TORRES, Igor Abrão; BUONICONTRO, Lílian Sales; DINIZ, Antonia Sônia Alves Cardoso. Estudo de zoneamento bioclimático para o estado de Minas Gerais com base nas tabelas de Mahoney – Considerações sobre a metodologia e resultados preliminares. In: **Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2003**, Curitiba. Paraná.

GRANJA, Ariovaldo Denis. 2002.117f. **Transmissão de calor em regime periódico: Efeito da inércia térmica em superfícies opacas**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade estadual de Campinas. Campinas, 2002

GRANJA, Ariovaldo Denis; LABAKI, Lucila Chebel. Paredes orientadas a leste e a oeste: uma abordagem crítica em relação ao conforto e à eficiência energética. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.4, n.4, p.65-75, out/dez 2004.

IEEE Standard 442-1981, **IEEE guide for soil thermal resistivity measurements**, ISBN 0-7381-0794-8. See also soil thermal properties.

JAHNHE, Karin Anete. **Análise do desempenho térmico de painéis de vedação e mantas para subcobertura com a reutilização de embalagem LV**. Dissertação (Mestrado: Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico. Florianópolis, 2006.

JARDIM, Patrícia R. S. Abreu. **Materiais de cobertura e sua relação com o desempenho térmico de edificações**: Um estudo comparativo entre telhas de material reciclado, de fibra e betume, fibrocimento e cerâmica. Dissertação

(Mestrado: Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Natal, 2011.

KOENIGSBERGER, O. H.; INGERSOLL, T. G.; MAYHEW, A.; SZOKOLAY, S. V. **Manual of Tropical Housing and Building. Part one: Climatic Design.** Longman, London, 1973.

LABSISCO, Laboratório de Sistemas Construtivos. Universidade Federal de Santa Catarina. **Casa Pet.** Disponível em: <http://www.labsisco.ufsc.br/casa_pet.html> Acessado em 24 out. 2012.

LAMBERTS, Roberto (ed); GHISI, Eneid (ed); PEREIRA, Cláudia Donald (ed); BATISTA, Juliana Oliveira (ed). **Casa Eficiente: Bioclimatologia e Desempenho Térmico.** Florianópolis: UFSC/LabEEE; 2010.

LAMBERTS, Roberto (ed); GHISI, Eneid (ed); PEREIRA, Cláudia Donald (ed); BATISTA, Juliana Oliveira (ed). **Casa Eficiente: Simulação computacional do desempenho termo-energético.** Florianópolis: UFSC/LabEEE; 2010.

LAMBERTS, Roberto; TRIANA, María Andrea. Levantamento do estado da arte: energia. **Habitação mais sustentável.** São Paulo, 2007.

MANUAL DE OSLO, Proposta de Diretrizes para Coleta e Interpretação de Dados sobre Inovação Tecnológica. Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento, Departamento Estatístico da Comunidade Européia. FINEP. S/D.

MEDEIROS, Otoniel Marcelino de. 2005.113f. **Alternativas de ultimateção de resíduo plástico termofixo.** Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais), Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2005.

MENEZES, Milton Serpa. **Avaliação do desempenho térmico de habitações sociais de Passo Fundo – RS.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Passo Fundo. Faculdade de Engenharia e Arquitetura. Programa de Pós-Graduação em Engenharia. Área de concentração: Infra-Estrutura e Meio Ambiente. Passo Fundo, Rio Grande do Sul, 2006.

MORENO, Ana Cecília Rodrigues; SOUZA, Roberta Vieira Gonçalves de. Análise de desempenho térmico em habitação de interesse social em Montes Claros-MG. In: **Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2011,** Búzios. Rio de Janeiro.

OLIVEIRA, Terange Utagori. **Estudo experimental das propriedades térmicas do ar aquecido por radiação solar em coletores planos.** Dissertação (Mestrado: Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica) Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 1986; 53p.

ORDENES, Martin; GÜTHS, Saulo; LAMBERTS, Roberto. Estimativa de propriedades termofísicas em campo usando modelos de transferência de calor e umidade. **Ambiente Construído,** Porto Alegre, v.10, n.4, p.19-35, out/dez 2010.

ORDENES, Martin; LAMBERTS, Roberto; GÜTHS, Saulo. Transferência de calor na envolvente da edificação. Florianópolis. 2008, 41p. Apostila do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina.

OZISIK, M. N. **Transferência de calor: um texto básico**. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan S. A., 1990, 661 p.

PASSOS, Isabela Cristina da Silva. Clima e arquitetura habitacional em Alagoas: estratégias bioclimáticas para Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do espaço Habitado). Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2009.

PEETERS, Leen; DEDEAR, Richard; HENSEN, Jan; D’HAESELEER. Thermal comfort in residential buildings: Comfort values and scales for building energy simulation. **Applied Energy** 86 (2009) 772–780.

PEIXOTO, Berto Luiz Freitas; Gomes, Maria de Lourdes Barreto. Ganhos em produtividade decorrentes de inovação tecnológica na construção civil: o uso dos distanciadores plásticos no sub-setor de edificações. In: **Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2006**, Fortaleza. Ceará.

PROVENZANO, Thaís L; BARTH, Fernando; Vefago, Luiz H. Maccarini; Silveira, Wilson Jesus da Cunha; ALENCASTRO João Paulo U de. Reciclagem de garrafas PET para a pré-fabricação de habitação de interesse social. In: Construção, 2004, 2004. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2004.

REIS, Arley. Programa Habitare adapta tecnologia de painéis alveolares para habitação popular. Disponível em: <http://habitare.infohab.org.br/ConteudoGet.aspx?CD_CONTEUDO=531> . Acessado em: 24 out. 2012.

RIVERO, Roberto. **Arquitetura e clima: condicionamento térmico Natural**. Porto Alegre: D.C. Luzzato Editores : Ed. Da Universidade, UFRGS, 1985.

ROCHA, Fabiano Melo Duarte; MELO, Aluísio Braz; SILVA, Elisângela Pereira; TORRES, Sandro Marden. Pré-moldado (bloco EVAi) para alvenaria intertravada: projeto, produção, desempenho e simulação de uso em habitação social. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 2, p. 47-60, abr/jun 2013.

SOUZA, Silvério, Rosa de. **Elementos de análise para gestão de processos e desempenho de produtos em sistemas construtivos**: estudo de caso com sistemas que adotam perfis auto-encaixáveis de PVC e concreto. Dissertação (Mestrado profissional: Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

SCHILLER, S. de. et al. **Relevancia de ‘proyectos demostrativos’ de bajo impacto ambiental e eficiencia energética**. Curso de Diseño y Urbanismo, Centro

de Investigación Habitat e Energía, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina, 2002.

SPECHT, Luciano Pivoto; BORGES, Pedro Augusto Pereira Borges; RUPP, Ricardo Forgiarini; VARNIER, Rosane. Análise da transferência de calor em paredes compostas por diferentes materiais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.10, n.4, p.7-18, out/dez 2010.

VITRÚVIO. Tratado de Arquitetura. São Paulo : Martins Fontes, 2007. 556p.

ANEXOS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL
Laboratório de Transferência de Calor
Campus Universitário – Natal RN – 59078-970 – Tel: (84) 3215-3752

PRESTAÇÃO DE SERVIÇO

Contratante: Taynah Teles Feijó / UFAL

Serviço: Determinação de propriedades térmicas de amostras de concreto padrão e com adição de raspas de madeira

Instrumentação: Thermal Properties Analyzer KD–2 Pro (Decagon Devices, Inc.)

Procedimento: De acordo com KD–2 Pro Operator's Manual

Modo de medição: HPM (higher Power Mode); sonda TR–1 recoberta com pasta térmica, amostra isolada em tubo com poliestireno expandido.

Intervalo: k (10 min); R (5 min)

Operador: George Santos Marinho – gmarinho@ct.ufrn.br

Data: 31 outubro 2012

Amostra 1 (concreto padrão)

t (h)	T (°C)	K (W/m.°C)	Err
20h15	25,55	1,484	0,0105
20h30	25,83	1,529	0,0099
20h45	26,03	1,597	0,0084

t (h)	T (°C)	R (°C . cm / W)	Err
20h50	26,17	66,95	0,0065
20h55	26,25	68,17	0,0058
21h00	26,30	66,39	0,0072

Amostra 2 (concreto com raspas de madeira)

t (h)	T (°C)	K (W/m.°C)	Err
21h25	25,65	0,964	0,0070
21h35	25,79	0,898	0,0036
21h45	26,00	0,896	0,0047

t (h)	T (°C)	R (°C . cm / W)	Err
21h55	26,19	121,0	0,0018
22h00	26,31	117,8	0,0027
22h05	26,37	117,7	0,0030

Amostra 3 (concreto com raspas de madeira)

t (h)	T (°C)	K (W/m.°C)	Err
22h25	25,26	0,858	0,0025
22h35	25,65	0,871	0,0032
22h45	25,90	0,874	0,0029

t (h)	T (°C)	R (°C . cm / W)	Err
22h55	26,09	122,0	0,0027
23h00	26,21	122,4	0,0024
23h05	26,29	120,1	0,0033

Amostra 4 (concreto com raspas de madeira)

t (h)	T (°C)	K (W/m.°C)	Err
23h25	25,26	1,036	0,0049
23h35	25,69	1,129	0,0053
23h45	25,94	1,142	0,0063

t (h)	T (°C)	R (°C . cm / W)	Err
23h50	26,13	100,7	0,0024
23h55	26,22	98,73	0,0031
24h00	26,26	97,04	0,0036



George Santos Marinho
UFRN – Matrícula SIAPE 1235107