

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Faculdade de Engenharia Agrícola

TELHAS ONDULADAS À BASE DE CIMENTO  
PORTLAND E RESÍDUOS DE *Pinus caribaea*

Por

Lia Lorena Pimentel

Orientador:

Antonio Ludovico Beraldo

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP em cumprimento aos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola  
Área de Concentração: Construções Rurais.

Campinas-SP  
Dezembro-2000

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

P649t	<p>Pimentel, Lia Lorena Telhas onduladas à base de cimento portland e resíduos de <i>Pinus caribaea</i> / Lia Lorena Pimentel.--Campinas, SP: [s.n.], 2000.</p> <p>Orientador: Antonio Ludovico Beraldo Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola</p> <p>1. Compostos fibrosos. 2. Cimento portland. 3. Cobertura de cimento amianto. 4. Concreto – Mistura 5. Resíduos vegetais. I. Beraldo, Antonio Ludovico. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.</p>
-------	--

Ao meu marido Rubens, companheiro de todas as horas.  
À minha filha Juliana.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Doutor Antonio Ludovico Beraldo, pela orientação, compreensão e sobre tudo pela confiança e credibilidade em mim depositadas.

À Professora Irenilza, pelo empréstimo de equipamentos.

Ao Professor Holmer Savastano Jr. pelo auxílio aos ensaios executados na FZEA - USP \_ Pirassununga e pelo fornecimento de artigos e normas técnicas.

Ao Professor Hélio Dias da Silva, da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UNIMEP, pela colaboração e liberação do uso de equipamentos do Laboratório de Sistemas Construtivos.

Aos colegas Carlos Eduardo Mariano e Grace Cristina Gutierrez pelo auxílio técnico, carinho e compreensão durante a elaboração deste trabalho.

Ao colega Ivan Moretti pelas fotografias feitas durante etapas da elaboração deste trabalho.

À técnica do Laboratório de Ensaio de Materiais, Gisleiva, pelo auxílio na execução de ensaios.

Ao Rubens pelo apoio técnico e revisão do trabalho.

As colegas Martha, Wilza e Sandra pelo apoio e pela alegria de nossos encontros.

À minha mãe, parceira nas coisas do lar, sem a qual não haveria tranquilidade e tempo suficientes para a execução deste trabalho.

A todos que mesmo não sendo citados ofereceram apoio para a realização deste trabalho.

Muito obrigada!

## ÍNDICE

<b>LISTA DE QUADROS</b> .....	viii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	ix
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b> .....	xi
<b>LISTA DE ANEXOS</b> .....	xii
<b>RESUMO</b> .....	xiii
<b>ABSTRACT</b> .....	xv
<b>1- INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	3
<b>2.1- O material em estudo: Partículas de <i>Pinus caribaea</i></b> .....	3
<b>2.2- Compósitos biomassa vegetal-cimento (CBVC)</b> .....	4
2.2.1- A incompatibilidade química entre biomassa vegetal e o cimento.....	5
2.2.2- Processos para reduzir a incompatibilidade química entre biomassa vegetal e o cimento.....	8

<b>2.3- Produção de telhas de concreto moldadas por vibração.....</b>	<b>8</b>
2.3.1- O que é TFM e TVM.....	8
2.3.2- Produção de artefatos de concreto: o uso do cimento ARI e da cura à vapor.....	9
2.3.3- Características desejáveis a elementos de cobertura.....	11
<b>3- MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>12</b>
<b>3.1- Lista de materiais.....</b>	<b>12</b>
<b>3.2- Lista de equipamentos.....</b>	<b>12</b>
<b>3.3- Métodos relativos ao material.....</b>	<b>13</b>
3.3.1- Caracterização dos materiais.....	13
3.3.2- Resultados relativos à caracterização dos agregados.....	14
3.3.2.1- Agregados vegetais.....	14
3.3.2.2- Agregado mineral.....	15
3.3.3- Tratamento físico - lavagem.....	15
<b>3.4- Métodos relativos ao compósito.....</b>	<b>16</b>
3.4.1- Verificação da incompatibilidade entre matriz e resíduo de <i>Pinus caribaea</i> .....	16
3.4.2- Análise da influência dos aceleradores sobre a hidratação do cimento.....	17
3.4.3- Determinação do Traço.....	18
3.4.4- Moldagem de Corpos de Prova Cilíndricos.....	19
3.4.5- Processos de Cura.....	20
3.4.6- Tratamentos Químicos.....	22
3.4.7- Delineamento Experimental.....	23
3.4.8- Ensaio de Compressão Simples.....	23
3.4.9- Ensaio de Absorção por Irmessão.....	24
3.4.10- Determinação da Variação Dimensional.....	24

3.4.11- Método de Análise Estatística.....	26
<b>3.5- Métodos relativos as telhas.....</b>	<b>26</b>
3.5.1- Moldagem das telhas.....	26
3.5.2- Ensaio de Permeabilidade.....	28
3.5.3- Ensaio de Ruptura à Flexão.....	28
3.5.4- Verificação da capacidade de Isolamento Térmico.....	29
<b>4- RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>32</b>
<b>4.1- Resultados relativos ao compósito.....</b>	<b>32</b>
4.1.1- A incompatibilidade química entre a matriz cimento e os agregados vegetais.....	32
4.1.2- Influência dos aceleradores sobre a hidratação do cimento.....	34
4.1.3- Análise da resistência à compressão simples.....	36
4.1.4- Análise da capacidade de Absorção.....	42
4.1.5- Análise da variação dimensional.....	43
<b>4.2- Resultados relativos à telha.....</b>	<b>45</b>
4.2.1- Avaliação da Permeabilidade.....	45
4.2.2- Avaliação da Resistência à flexão estática.....	46
4.2.3- Avaliação do Isolamento térmico.....	49
<b>5- CONCLUSÕES.....</b>	<b>53</b>
<b>6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>55</b>

## LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1	Distribuição granulométrica - Serragem.....	14
Quadro 3.2	Distribuição granulométrica - Parafinado.....	14
Quadro 3.3	Distribuição granulométrica - Agregado Mineral.....	15
Quadro 3.4	Ensaio preliminar para determinação do traço.....	18
Quadro 3.5	Traços definidos em massa.....	19
Quadro 3.6	Delineamento experimental.....	23
Quadro 3.7	Traços ensaiados quanto à variação dimensional.....	25
Quadro 4.1	Resultados de variação dimensional média após 120 horas.....	44
Quadro 4.2	Resultados do ensaio de permeabilidade.....	45
Quadro 4.3	Resultados do ensaio de flexão estática.....	47

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1	Evolução da temperatura durante o processo de cura à vapor.....	21
Figura 3.2	Vista geral - Equipamento para cura à vapor.....	21
Figura 3.3	Detalhe construtivo - Equipamento para cura à vapor.....	21
Figura 3.4	Dispositivo para produção de corpos de prova para determinação da variação dimensional.....	25
Figura 3.5	Detalhe da produção de telhas.....	27
Figura 3.6	Montagem do ensaio de permeabilidade.....	28
Figura 3.7	Dispositivo para ensaio de flexão estática.....	29
Figura 3.8	Posição dos termopares - vista geral.....	30
Figura 3.9	Vista geral.....	31
Figura 3.10	Bússola e Relógio de sol.....	31
Figura 4.1	Curva de hidratação - CP II - E - 32.....	32
Figura 4.2	Curva de hidratação - CP V - ARI.....	34
Figura 4.3	Influência dos aceleradores sobre o cimento CP II - E - 32.....	35
Figura 4.4	Influência dos aceleradores sobre o cimento CP V - ARI.....	35
Figura 4.5	Influência do traço na resistência à compressão do compósito.....	37
Figura 4.6	Influência do cimento na resistência à compressão do compósito.....	38

Figura 4.7	Influência da origem na resistência à compressão do compósito.....	39
Figura 4.8	Influência do tipo de cura na resistência à compressão do compósito.....	39
Figura 4.9	Influência do tipo de tratamento na resistência à compressão do compósito.....	40
Figura 4.10	Influência da lavagem das partículas para o Traço 1.	41
Figura 4.11	Influência da lavagem das partículas para o Traço 2.	41
Figura 4.12	Superfície inferior de algumas telhas após o ensaio de permeabilidade.....	46
Figura 4.13	Curva Força X Deformação - Telha com material Serragem.....	47
Figura 4.14	Curva Força X Deformação - Telha de micro-concreto.....	48
Figura 4.15	Desenvolvimento das temperaturas - Telha com material Serragem.....	49
Figura 4.16	Desenvolvimento das temperaturas - Telha com material Parafinado.....	50
Figura 4.17	Desenvolvimento das temperaturas - Telha de Amianto.....	51
Figura 4.18	Desenvolvimento das temperaturas - Telha de micro-concreto.....	52

## LISTA DE SÍMBOLOS

SÍMBOLO	SIGNIFICADO
T1	Traço 1
T2	Traço 2
CPII	Cimento Portland tipo CP II - E - 32
ARI	Cimento Portland tipo CP V
S	Partícula vegetal denominada Serragem
P	Partícula vegetal denominada Parafinada
U	Cura Padrão
V	Cura à Vapor
N	Partículas no estado Natural
L	Partículas que sofreram tratamento físico Lavagem
T	Testemunho - compósito sem tratamento químico
CC	Compósito com Cloreto de Cálcio
SAP	Compósito com Sulfato de Alumínio Puro Analítico
S A	Compósito com Sulfato de Alumínio Comercial

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 - Teste de Trabalhabilidade.....	60
Anexo 2 - Calculo da declinação magnética.....	62
Anexo 3 - Resultados de Resistência à Compressão 28 dias - T1.....	63
Anexo 4 - Resultados de Resistência à Compressão 28 dias - T2.....	64
Anexo 5 - Resultados de Resistência à Compressão 9 horas – cura vapor.....	65
Anexo 6 - Resultados de Absorção T 1.....	66
Anexo 7 - Resultados de Absorção T 2.....	67

## RESUMO

Do processo de fabricação de lápis, origina-se grande quantidade de resíduos, que uma vez não tendo destino acabam sendo queimados gerando poluição e desperdício de energia. Este resíduo pode tornar-se matéria prima para a produção de artefatos à base de cimento, com características vantajosas como a uniformidade em relação à granulometria, à espécie originária e a sua disponibilidade em grandes quantidades.

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver a dosagem adequada de compósito madeira-cimento utilizando resíduos de *Pinus caribaea* oriundos da indústria de lápis Faber Castell visando a produção de telhas moldadas por vibração.

A incompatibilidade química entre o resíduo de *Pinus caribaea* e o cimento foi avaliada através de curva de hidratação, que evidenciaram o efeito inibitório deste material. Por meio de ensaios de compressão simples de corpos de prova cilíndricos determinou-se a influência da combinação de diversos fatores como tipo de cimento (CP V e CP II), traço, aceleradores de pega (Cloreto de cálcio e Sulfato de alumínio), tipo de cura (Úmida e a vapor) e origem da matéria prima (Serragem e Parafinado), na obtenção de compósitos de maior resistência à compressão. Foram avaliadas também características físicas como capacidade de absorção e variação dimensional.

Os traços tiveram o fator a/c definido pela trabalhabilidade necessária para a produção da telha em máquina vibratória marca Parry Associates. Após definida a dosagem mais adequada para a produção de telhas pelo sistema especificado foram produzidas duas séries de telhas, uma com o material parafinado e outra com o material serragem, foi também produzida uma série de telhas com micro concreto que serviu de referência para avaliação das características físicas (resistência mecânica, permeabilidade, e capacidade de isolamento térmico).

Os resultados indicaram a potencialidade do uso destes resíduos para a produção de telhas visto que obtiveram resistência mecânica compatíveis com especificações internacionais e atenderam aos requisitos do ensaio de permeabilidade. Apesar da capacidade de isolamento térmico não ter sido detectada através do ensaio proposto, a telha executada com partículas de *Pinus caribaea* leva vantagem sobre a de concreto pois é cerca de 40% mais leve, resultando em menor carga estrutural e conseqüentemente menor gasto com estrutura do telhado.

Palavras – chave: compósito madeira-cimento, telhas, cura à vapor

## ABSTRACT

Pencil manufacture generates a large amount of wastes. These residues do not have an useful destination. They are usually burned provoking air pollution and energy loss. However, this wood residues could be used as a raw-material in cement based products. A studied composite demonstrated advantageous characteristics as lightweight and thermal insulation.

The objective of this work was the development of an adequate wood/cement ratio using *Pinus caribaea* residues from the Faber Castell Industry, to be used in roofing-tiles production.

Chemical compatibility between *Pinus caribaea* residues and Portland cement was evaluated by means of the hydration curve method. Results shows the inhibitory effect of the raw-material when mixed with cement paste.

Compression strength of cylindrical specimens, was also evaluated. Results shows the influence of several parameters as cement type (CP V-ARI and CP II-E-32), wood/cement/sand/water ratio, chemical treatment (calcium chloride and aluminum sulfate), cure type (humid and steam), and raw-material type (sawdust and wax coated particles). Absorption capacity and swelling were also evaluated.

Mix was selected after physico-mechanical evaluation for roofing-tiles fabrication in a Parry Associates device. Two series of roofing-tiles were produced, one with wax coated wood particles and the other with sawdust material. Both tiles were compared with the microconcrete roofing-tiles reference.

Tiles composite by-products presented characteristics to be used for construction, mainly in rural areas.

Key-word: composite wood-cement, roofing-tiles, humid and steam cure

## 1 - INTRODUÇÃO

Produtos à base de aglomerantes inorgânicos e madeira começaram a ser produzidos a partir da década de 30, sob forma de painéis leves de madeira e magnesita. O desenvolvimento da tecnologia para a utilização de resíduos de madeira com aglomerantes orgânicos, efetuou-se mais rapidamente do que a utilização dessa matéria prima vegetal com aglomerantes minerais (BERALDO, 1997).

Atualmente, devido ao encarecimento dos aglomerantes orgânicos e à proibição da utilização do amianto em alguns países, pesquisas sobre a viabilidade da utilização de compósitos biomassa vegetal-cimento voltaram a ser desenvolvidas.

Outro fator que impulsiona a ampliação desta linha de pesquisa é a preocupação com o meio ambiente buscando-se, através da utilização de resíduos provenientes da agro-indústria, minimizar o gasto de energia para a produção de elementos construtivos e evitar danos ao meio ambiente que são causados pela queima desses resíduos.

Conforme salientado por SAVASTANO (2000), em todo o mundo esses fibrocimentos alternativos já fazem parte de programas de transferência tecnológica, especialmente no que se refere aos sistemas de cobertura de baixo custo, conforme reportado por GRAM et al. (1994).

O desenvolvimento de compósitos biomassa vegetal-cimento passa por uma série de questões básicas a serem solucionadas:

- (i) estudo geo-econômico para verificar a potencialidade do resíduo como matéria prima para fabricação de compósitos;
- (ii) falta de compatibilidade química entre o resíduo e a matriz cimentícia;
- (iii) fazer com que o compósito no estado fresco apresente as características necessárias que possibilitem a fabricação de determinado elemento construtivo;

- (iv) determinar a dosagem adequada do compósito de forma que o elemento construtivo atenda às especificações físicas e mecânicas de elementos construtivos similares existentes no mercado.

A indústria Faber Castell, situada em São Carlos – SP, gera com a produção de lápis uma quantidade de aproximadamente 2,16 mil t/mês de resíduos, constituídos basicamente por partículas de *Pinus caribaea*, madeira de reflorestamento utilizada pela indústria.

A opção pelo uso deste tipo de resíduo, foi definida pela diminuição no número das possíveis variáveis, que influenciam na questão da incompatibilidade química entre biomassa vegetal e o cimento, como por exemplo:

- (i) não haver mistura de espécies a serem utilizadas ao mesmo tempo;
- (ii) as árvores são cortadas quando têm a mesma idade;
- (iii) a granulometria do resíduo é regular em cada etapa de fabricação.

O objetivo deste trabalho foi o de viabilizar a produção de telhas onduladas, utilizando resíduos da referida indústria.

O leitor encontrará no capítulo 2 uma revisão bibliográfica que foi dividida em três etapas, a primeira relativa ao *Pinus caribaea* e ao tipo de resíduo produzido pela indústria Faber Castell. A segunda parte refere-se ao compósito biomassa vegetal-cimento (CBVC), onde o leitor encontrará desde os principais campos de utilização deste material e suas características até as principais dificuldades em se trabalhar com ele e os tratamentos que podem ser utilizados para minimizar a dificuldade em se combinar a biomassa vegetal e o cimento. A terceira parte é relativa à produção de telhas moldadas por vibração e o uso do cimento ARI e da cura à vapor como forma de acelerar processos produtivos de artefatos de concreto.

No capítulo 3 são descritos os métodos de ensaio, apresentados separadamente sobre a caracterização dos agregados vegetais e mineral utilizados, sobre o estudo de dosagem e sobre a produção e avaliação das telhas.

No capítulo 4 são apresentados os resultados do estudo de dosagem do compósito e da avaliação das telhas. No capítulo 5 são apresentadas as conclusões.

## 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 - O material em estudo: Partículas de *Pinus caribaea*

As primeiras tentativas efetuadas visando a introdução de coníferas exóticas foram realizadas em 1936, pelo Serviço Florestal do Estado de São Paulo, com espécies de procedência européia. A partir de 1947, recebeu-se, oriunda dos EUA, as primeiras sementes de *Pinus elliottii*; em 1948 iniciou-se um plano de incentivo ao reflorestamento, com distribuição de mudas de *Pinus radiata*. Essa espécie demonstrou, alguns anos mais tarde, sua incapacidade de se desenvolver nas condições ambientais brasileiras. No decorrer dos anos foram introduzidas, no Brasil, as espécies: *Pinus taeda*, *Pinus caribaea*, *Pinus oocarpa*, *Pinus kesiya*, dentre outras.

A partir de 1955 o Serviço Florestal iniciou outro plano de reflorestamento, desta vez com *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, os quais demonstraram ótimo desenvolvimento em condições climáticas brasileiras.

*Pinus caribaea var. caribaea* é aquela que, dentre os Pinus, apresenta menor incremento anual, porém, é a que se mostra mais adequada para o processamento mecânico, por apresentar fuste reto e galhos finos e curtos.

As madeiras pertencentes ao gênero Pinus fornecem material de boa qualidade para a produção de celulose, além de apresentar características tecnológicas adequadas para seu aproveitamento em serraria. Durante as etapas do processamento mecânico da madeira produz-se grande quantidade de resíduos que, até o momento, não têm recebido a devida valorização.

Nos reflorestamento com coníferas tropicais, no Estado de Minas Gerais, as espécies mais utilizadas são *Pinus caribaea var. hondurensis* e *Pinus oocarpa*. Em menor escala, encontram-se *Pinus caribaea var. caribaea*, *Pinus caribaea var. bahamensis* e *Pinus elliottii var. densa* (GOLFARI et al., 1978).

O reflorestamento da empresa Faber Castell, em Prata-MG, apresenta uma extensão de 6 mil hectares. O plantio é feito em regime de cultivo mínimo e a espécie utilizada é o *Pinus caribaea var. hondurensis*. A idade de corte é de 14 anos, e do processo de fabricação resultam dois tipos de resíduo: cerca de 2 mil t/mês de serragem sem tratamento químico em Prata- MG, e cerca de 160 t/mês de resíduo tratado com impregnação de parafina e corante, em São Carlos-SP. Este último processo garante melhor apontabilidade ao lápis e melhor aspecto de cor. Atualmente esses dois tipos de resíduo estão sendo utilizados, parcialmente, como cama de frango e na fabricação de briquetes para geração de energia.

## **2.2 - Compósitos Biomassa Vegetal-Cimento (CBVC)**

Compósitos biomassa vegetal - cimento (CBVC) podem ser utilizados para as mais diversas finalidades, em vista de suas características especiais, tais como, baixa massa específica, isolamento termo-acústico, resistência ao fogo, impermeabilidade e resistência mecânica que, embora não seja tão alta quanto à do concreto, não chega a ser desprezível.

As utilizações mais comuns do CBVC são na fabricação de: painéis anti-ruído, revestimentos, forros, vedação de equipamentos industriais, pisos e blocos não estruturais.

As características de um compósito biomassa vegetal-cimento dependem fortemente da biomassa vegetal empregada (BERALDO, 1997). A forma geométrica das partículas, seu grau de absorção de umidade e, principalmente, a constituição química da madeira influenciam notavelmente no resultado final obtido.

As principais vantagens no uso do CBVC são:

- Disponibilidade de matéria prima em grandes quantidades;
- Baixa massa específica - variando de 400 a 1500 kg/m<sup>3</sup>, o que permite sua utilização como painel de fechamento, forros, telhas, etc;
- Isolante termo-acústico;

- Baixa permeabilidade, quando comparado à madeira e placas de compensado;
- Resistência mecânica- sua resistência à compressão é inferior a de outros concretos leves, mas a relação entre tração e compressão passa de 1/10, como é o caso do concreto convencional, para 1/2 a 1/4 no CBVC (BERALDO, 1997);
- Pode ser serrado e furado;
- Pode receber parafusos.

As características do CBVC, enquanto material fresco, dependem do resíduo vegetal empregado, podendo conseguir-se facilmente ótima trabalhabilidade com partículas de fibras curtas.

Segundo HOLDERNESS (1990), os compósitos à base de biomassa vegetal tem grandes possibilidades de utilização, considerando-se sua versatilidade e seu baixo custo.

Como desvantagem principal, pode ser citada a incompatibilidade química entre a biomassa vegetal e o cimento. A constituição química da biomassa, com a presença de açúcares, resinas, fenóis e amido, pode afetar de forma adversa a hidratação do cimento.

Outras desvantagens são:

- Instabilidade dimensional. Medidas feitas em corpos-de-prova de concreto de madeira, apresentaram variação dimensional máxima, entre os estados seco em estufa e saturado, da ordem de 5 mm/m, enquanto que outros concretos leves apresentaram variação da ordem de 0,45 mm/m (PIMIENNA et al., 1994);
- Tempo de início de pega muito longo, o que diminui a produtividade no canteiro de obras;
- Durabilidade reduzida da biomassa vegetal na matriz: as partículas vegetais ao longo do tempo, sob o efeito do meio alcalino, se desintegram, gerando espaços vazios e, conseqüentemente, diminuindo a resistência mecânica do material.

### 2.2.1 A incompatibilidade química entre a biomassa vegetal e o cimento

Os principais constituintes da madeira são a celulose, a hemicelulose e a lignina. Além destes a madeira contém numerosas substâncias naturais tais como; taninos, extrativos e

resinas. A composição química da madeira pode ser influenciada pela sua origem, sua idade e a espécie (PIMIANTA et al., 1994).

Segundo BIBLIS et al. (1968), que estudaram a compatibilidade entre a madeira Southern pine e o cimento, a ação do fungo manchador azul (*Ceratocystis pilifera*) sobre essa madeira durante um período de 4 meses provocou a diminuição no tempo de pega da mistura com o cimento. Segundo os autores, tal fato deveu-se, provavelmente, à ação do fungo que consumiu os açúcares presentes na madeira.

A lignina não apresenta efeito inibitório, mas o tanino hidrolizável pode afetar a pega do cimento. Alguns ácidos orgânicos, como por exemplo, o ácido alifático, demonstraram ser inibitórios, de acordo com KLEINLONGEL (1950), citado por BIBLIS et al. (1968).

A celulose devido sua característica cristalina, provavelmente não reaja com o cimento. No entanto, hemiceluloses não cristalinas solúveis em água ou em meio alcalino e os açúcares simples se combinam provavelmente por reação de união com íons metálicos (PIMIANTA et al., 1994).

Os açúcares simples tais como glicose, manose e galactose têm grau de inibição da reação de hidratação diferentes. Estes carboidratos podem diminuir a hidratação e o tempo de pega por diferentes mecanismos (PIMIANTA et al., 1994).

A compatibilidade entre madeira e cimento pode ser avaliada por meio de ensaios laboratoriais, sendo os mais utilizados a verificação da resistência à compressão de corpos-de-prova cilíndricos, e o teste do calor de hidratação.

SANDERMANN e BRENDDEL (1956), citados por JAIN et al. (1989), desenvolveram o método de determinação da resistência à compressão de corpos-de-prova cilíndricos, preparados com mistura de madeira e cimento, submetidos à cura apropriada, para avaliação da compatibilidade entre madeira e cimento.

Uma avaliação do efeito de seis espécies de madeira sobre a pasta de cimento, foi feita por LEE et al. (1986), através do uso do ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Neste trabalho foi feita também uma análise para verificar a existência de correlação entre a resistência à compressão com o tempo de hidratação, a temperatura máxima de hidratação e a idade de cura. Concluiu-se que, existia relação entre a temperatura máxima de hidratação e com a resistência à compressão. No entanto, não ficou bem definida a relação com o tempo de hidratação, principalmente quando foi utilizado cloreto de cálcio, o qual reduziu as faixas de

variação da resistência e do tempo de hidratação, impossibilitando a análise da compatibilidade entre o cimento e as seis espécies de madeira.

SHUKLA et al. (1984), citados por JAIN et al. (1989), verificaram a possível compatibilidade entre o cimento e uma grande quantidade de espécies de madeira e outros materiais lignocelulósicos, através do método desenvolvido por SANDERMANN et al. (1956). A resistência à compressão, obtida em corpos-de-prova cilíndricos, serviu como um parâmetro para a avaliação da compatibilidade do sistema madeira-cimento.

A determinação da resistência à compressão é um método que avalia bem a capacidade do sistema madeira-cimento atingir a resistência final. No entanto, o método não parece ser adequado para avaliar a resistência inicial do material.

O desenvolvimento da resistência inicial é importante quando se prevê um processo contínuo de produção, e para fazer esta avaliação inicial, o teste do calor de hidratação mostrou-se mais adequado.

WEATHERWAX et al. (1964) foram os primeiros a propor uma fórmula para calcular o índice inibitório, usando apenas o tempo de hidratação (o tempo requerido para a mistura madeira-cimento atingir sua máxima temperatura). Esta fórmula foi mais tarde usada por outros autores para estudar misturas de madeira e cimento (BIBLIS et al., 1968). No entanto, quando variáveis experimentais começaram a se tornar mais complexas, apenas o uso do tempo de hidratação mostrou-se inadequado como índice inibitório. A fórmula do índice inibitório foi, então, melhorada por MOSLEMI et al. (1987), os quais sugeriram a inclusão da máxima temperatura de hidratação e da inclinação da curva de hidratação (LEE et al., 1986).

MANZANARES et al. (1991) utilizaram a temperatura de hidratação como parâmetro para avaliar a compatibilidade entre o cimento e três espécies florestais cubanas: *Casuarina equisetifolia*, *Pinus tropicalis* e *Busera simaruba*. Apenas essa última foi considerada como sendo não adequada para a fabricação de compósitos madeira-cimento.

O método precedente também foi utilizado por BIBLIS et al. (1968) e por DASS et al. (1969), ambos citados por JAIN et al. (1989), para avaliação preliminar da compatibilidade do sistema madeira-cimento, para diversas espécies de madeira.

IRLE et al. (1992) utilizaram a determinação da temperatura máxima de hidratação para avaliar a compatibilidade entre diversas fibras vegetais e o cimento. Avaliaram, igualmente, a influência de tratamentos físico-químicos aplicados sobre estas fibras, na compatibilidade entre elas e cimento.

### 2.2.2 - Processos para reduzir a incompatibilidade química entre biomassa vegetal e o cimento

É possível minimizar ou mesmo evitar os efeitos da incompatibilidade química, através de tratamentos físico-químicos aplicados sobre as partículas vegetais como, por exemplo, a lavagem das partículas em água quente e a utilização de aceleradores de pega (cloreto de cálcio, sulfato de alumínio e silicato de sódio). Pode-se também utilizar impermeabilizantes como, por exemplo, Neutrol, para criar sobre as partículas de madeira uma camada impermeável, que impeça a água de solubilizar os extrativos da madeira, os quais são nocivos à hidratação do cimento. Alguns destes tratamentos físicos foram citados por PIMIANTA et al. (1994).

a) Lavagem em água quente permite a remoção de extrativos da madeira, que se solubilizam na água, conforme procedimento utilizado por BIBLIS et al. (1968).

b) Aceleradores, como o cloreto de cálcio e o sulfato de alumínio, tem sido empregados no estudo de compósitos madeira-cimento. Em presença de acelerador, o cimento tende a se hidratar mais rapidamente, não havendo tempo para que os extrativos da madeira afetem a reação de hidratação do cimento.

## 2.3 - Produção de telhas de concreto moldadas por vibração

### 2.3.1 - TFM e TVM (Tuiles en fibro mortier et Tuiles en vibro mortier)

A fabricação de telhas através do processo de moldagem por vibração é bastante difundida em diversos países. A tecnologia das **TFM/TVM** foi desenvolvida nos anos 70, graças à experiência obtida com telhas de concreto e de cimento amianto. Hoje, essa tecnologia e a experiência obtida mostraram que as TFM/TVM são materiais de construção capazes de concorrer com os materiais tradicionais utilizados em coberturas (GRAM, 1994).

TFM/TVM são telhas fabricadas com micro-concreto, através de moldagem por vibração, diferindo entre si quanto ao tipo de agregado utilizado. A TFM é produzida com concreto ao qual acrescenta-se uma porcentagem de fibras naturais ou sintéticas. Nas TVM agregados de pequeno diâmetro substituem as fibras.

Apesar da tecnologia de fabricação desses materiais ter alcançado um nível de desenvolvimento satisfatório, os membros do Serviço de Assessoria em telhados da SKAT (Centre de Coopération Suisse pour la Technologie et le Management), bem como os mais importantes fabricantes deste tipo de equipamento, estão melhorando-os continuamente e propondo novas alternativas também aos métodos de produção (SKAT, 1989).

Essas telhas permitem a realização de telhados econômicos e seguros. A matéria-prima a ser utilizada é local, dependendo apenas de ajuste de dosagem. Tanto a TVM quanto a TFM resultam na obtenção de telhas leves, diminuindo as cargas estruturais do telhado.

A tecnologia para a fabricação de telhas leves onduladas é de baixo custo; em países subdesenvolvidos permite a criação de empregos e diminuir gastos com importação de telhas de zinco ou amianto.

### 2.3.2 - Produção de artefatos de concreto - o uso do cimento ARI e da cura a vapor

Pastas, argamassas e concreto à base de cimento ARI (Alta Resistência Inicial) mostram um aumento mais rápido de resistência nas primeiras idades, atingindo, aos 3 dias, a mesma resistência que teria um material similar à base de cimento comum, aos 7 dias. A velocidade de endurecimento não deve ser confundida com a velocidade de pega; na realidade os dois cimentos (CP-V e CP-II) têm tempos de pega aproximadamente iguais. O termo endurecimento designa o aumento de resistência de uma pasta após o período de pega.

O uso do cimento ARI é o mais indicado quando se necessita de um aumento rápido da resistência, como, por exemplo, quando as fôrmas devem ser liberadas o mais rapidamente possível para nova utilização. Como, no entanto, o aumento rápido de resistência implica em uma velocidade alta de despreendimento de calor de hidratação, este tipo de cimento não deve ser usado em concreto massa, ou em peças estruturais com grandes seções transversais (NEVILLE, 1982).

Devido a essas características, esse cimento é muito utilizado por indústrias de artefatos de concreto e de construções pré-fabricadas, visando alcançar-se o aumento de produtividade. Outro método muito utilizado por estas indústrias é o processo de cura a vapor à pressão atmosférica (temperatura do vapor abaixo de 100 °C).

O processo de cura a vapor à pressão atmosférica pode ser considerado como um caso especial de cura úmida, e tem como objetivo principal fornecer uma resistência inicial suficientemente alta, de modo que os produtos de concreto possam ser manuseados o mais cedo possível após a moldagem, significando uma considerável vantagem econômica. No entanto, estudos realizados por diversos pesquisadores, citados por NEVILLE (1982), demonstraram que um aquecimento excessivo ou a elevação da temperatura feita de forma prematura, isto é, antes de completar o tempo de pega, podem afetar de forma adversa o aumento da resistência.

O ciclo de cura a vapor deve conter obrigatoriamente 4 etapas:

- (i) pré-tratamento (período inicial em que se aguarda o início da reação de hidratação);
- (ii) período de crescimento da temperatura ambiente provocada pelo vapor;
- (iii) período de manutenção da temperatura durante o qual se mantém a temperatura máxima estipulada;
- (iv) período de resfriamento.

### 2.3.3 - Características desejáveis para elementos de cobertura

Quando se fala em avaliação do desempenho térmico de edificações e/ou elaboração de projetos arquitetônicos adequados do ponto de vista do conforto térmico, as propriedades térmicas dos materiais de construção assumem grande importância.

Os materiais de construção, em sua grande maioria, podem ser considerados materiais de múltiplas fases, ou seja, contém no seu interior matéria no estado sólido, líquido e gasoso, o que implica que a transferência de calor seja feita por três processos distintos: convecção, radiação e condução, o que dificulta sobremaneira a medida e o cálculo da condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) desses materiais.

A condutibilidade térmica é influenciada também pela massa específica aparente e pela porosidade dos materiais. Em geral, a condutibilidade térmica diminui com o aumento da quantidade de ar presente no material (AKUTSU et al., 1988).

A baixa massa específica pode proporcionar também uma menor carga estrutural, resultando em economia na construção. Outro fator de grande importância é a permeabilidade, pois essa característica influencia na durabilidade do elemento construtivo e na sua estanqueidade.

As normas técnicas que regem o comportamento de produtos à base de concreto ou à base de amianto prevêem a avaliação de diversos parâmetros, tais como, a capacidade absorção, a resistência mecânica à flexão e a permeabilidade.

### **3 - MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 - Lista de Materiais**

- Resíduo vegetal fornecido pela indústria Faber Castell – partículas de *Pinus caribaea* originárias de duas fontes, a saber:
  - Serragem – proveniente de Prata–MG;
  - Parafinado – proveniente de São Carlos - SP.
- Agregado mineral – areia média lavada
- Matriz cimentícia:
  - CP II-E-32 (NBR 11578) – marca Votorantim;
  - CP V-ARI (NBR 5733)- marca Cauê.
- Aditivos químicos:
  - Cloreto de cálcio anidro PA; (CC)
  - Sulfato de alumínio PA, 99% de pureza; (SAP)
  - Sulfato de alumínio comercial (utilizado para limpeza de piscinas); (SA)
- Água: fornecida pela rede pública.

#### **3.2 - Lista de Equipamentos**

- Agitador mecânico de peneiras marca SOLOTEST;
- Jogo de peneiras normatizadas, incluindo a peneira de abertura 0,075 mm;
- Estufa mod. 320 – SE marca FANEM;
- Balança mod. AS 5500 com cap. 5 kg e sensibilidade de 0,25 g, marca MARTE;

- Balança mod. A 40 com cap. 40 kg e sensibilidade de 1 g, marca MARTE;
- Máquina para fabricação de telhas Parry Associates;
- Sistema manual de aquisição de dados com 12 canais, marca Colle Parmer;
- Sistema automático de aquisição de dados marca Barnant-Scanning Thermocouple Thermometer, modelo 692-8010 – Benchtop, ligado a um computador Pentium 133;
- Termopares tipo J;
- Máquina Universal de Ensaio VEB Werkstoffprüfmaschinen;
- Máquina Universal de Ensaio marca EMIC modelo DL 30000;
- Prensa manual para ensaio Proctor, capacidade de 5 toneladas, marca SOLOTEST;
- Moldes metálicos para CP  $\phi$  50 X 100 mm com base rosqueável;
- Relógio comparador marca MITUTOYO com sensibilidade de 0,001 mm;
- Paquímetro digital marca MITUTOYO com sensibilidade de 0,01 mm;
- Câmara úmida;
- Caixa adaptada para simulação de cura a vapor;
- Vasilhames - baldes, caixas plásticas, bandejas;
- Colher de pedreiro, desempenadeira e espátulas.

### **3.3 - Métodos relativos ao material partícula de *Pinus caribaea***

#### **3.3.1 - Caracterização dos materiais**

Os resíduos utilizados foram denominados Serragem (**S** - coletados na serraria em Prata-MG) e Parafinado (**P** - coletados na indústria Faber Castell, em São Carlos - SP). Ambos tiveram suas curvas granulométricas determinadas conforme recomenda a NBR 7217.

Deve ser observado que o resíduo tipo Serragem foi composto por partículas longas e espiraladas, enquanto que o material Parafinado foi composto por partículas curtas, de cor avermelhada devido ao processo químico de impregnação da madeira com parafina e corante.

### 3.3.2 - Resultados relativos à caracterização dos agregados

#### 3.3.2.1 - Agregados Vegetais

Os quadros 3.1 e 3.2 apresentam, respectivamente, o resultado das análises granulométricas relativas aos materiais serragem e parafinado.

Quadro 3.1 Distribuição Granulométrica-Serragem

Quadro 3.2 Distribuição Granulométrica-Parafinado

Malha (#) mm	% Retida	% Acum.	Malha (#) mm	% Retida	% Acum.
9,5 (3/16")	2,2	2,2	9,5 (3/16")	0,0	0,0
4,76 (# 4)	5,3	7,5	4,76 (# 4)	6,71	6,7
2,38 (# 8)	4,1	11,6	2,38 (# 8)	32,4	39,1
1,19 (# 16)	23,5	35,1	1,19 (# 16)	37,7	76,8
0,59 (# 30)	20,0	55,1	0,59 (# 30)	15,9	92,7
0,297 (# 50)	25,3	80,4	0,297 (# 50)	5,4	98,1
0,149 (# 100)	13,9	94,3	0,149 (# 100)	1,1	99,2
0,074 (# 200)	4,8	99,1	0,074 (# 200)	0,7	99,9
Fundo	0,75	100,0	Fundo	0,1	100,0
Módulo de Finura		2,86	Módulo de Finura		4,13
Dimensão Máxima		9,5 mm	Dimensão Máxima		9,5 mm

Segundo a NBR 7211 (Agregados para concreto), que estabelece limites granulométricos para o agregado miúdo em função das porcentagem retidas acumuladas, o material serragem tem granulometria similar à de uma areia fina, possui também uma maior quantidade de finos que o material parafinado. Este, por sua vez, tem curva granulométrica similar à de areia grossa. Tal fato pode ser notado pelo valor obtido para os módulos de finura (S = 2,86; P = 4,13).

### 3.3.2.2 Agregado Mineral

A análise granulométrica do agregado mineral está apresentada no Quadro 3.3.

Quadro 3.3- Distribuição granulométrica do agregado mineral

Malha #, mm	% Retida	% Acum.
9,5 (3/16")	4,3	4,3
4,76 (# 4)	4,6	8,9
2,38 (# 8)	5,3	14,2
1,19 (# 16)	16,2	30,4
0,59 (# 30)	20,6	51,0
0,297 (# 50)	22,6	73,6
0,149 (# 100)	16,0	89,6
Fundo	10,4	100,0
Módulo de Finura		2,72
Dimensão Máxima		9,5 mm

Segundo a NBR 7211 (Agregados para concreto), este material pode ser classificado como areia média.

### 3.3.3 - Tratamento físico – Lavagem

Parte do material Serragem foi lavado com o intuito de eliminar o excesso de extrativos, prováveis inibitórios da pega e do endurecimento do cimento, obtendo-se, para efeito de comparação, resíduos de dois tipos de serragem nas condições Natural (**N**) e Lavada (**L**).

O processo de lavagem foi feito em água quente, baseado em metodologia preconizada por BERALDO et al. (1996), a qual consistiu em imersão das partículas em água quente, com temperatura da ordem de 80 °C, por um período de 1 hora, seguido de lavagem em água

corrente e secagem das partículas ao ar livre. Posteriormente, as partículas foram estocadas em bandejas até a ocasião do uso.

No tratamento de lavagem adotou-se uma concentração de 100 g de partículas por litro de água.

Esse processo de lavagem não foi aplicado ao material parafinado (P) porque não seria possível avaliar o provável benefício, visto que, seriam eliminados, além dos extrativos, a parafina e o corante.

### **3.4 - Métodos relativos ao compósito**

#### 3.4.1 - Verificação da incompatibilidade química entre a matriz e o resíduo de *Pinus caribaea*

Para verificar a influência da natureza do material *Pinus caribaea* sobre a hidratação da pasta de cimento, utilizou-se metodologia proposta inicialmente por SANDERMANN et al. (1960), a qual sofreu ligeiras modificações em trabalho de WEATHERWAX et al. (1964).

O método consiste em determinar a elevação da temperatura resultante da reação exotérmica da hidratação da pasta de cimento e de suas diferentes misturas, em função do tempo.

Para a determinação da evolução do calor de hidratação do cimento a norma NBR 12006 determina o emprego do calorímetro semi-adiabático (garrafa de Langavant). No entanto, por não haver disponibilidade do referido equipamento utilizou-se recipientes de Isopor dispostos no interior de uma caixa com revestimento interno isolante. No interior de cada recipiente foi depositada a mistura, para a qual determinava-se a evolução da temperatura ao longo do tempo.

O ensaio foi aplicado à pasta de cimento pura e com resíduo de *Pinus caribaea*. O resíduo foi obtido passando-se as partículas vegetais separadamente pelas peneiras nº 100 e nº 50 (ABNT), com aberturas de 0,15 e 0,30 mm respectivamente.

A pasta foi preparada com a seguinte composição, conforme procedimento utilizado por MOSLEMI, (1983):

Cimento 200 g ( $M_c$ );

Resíduo 15 g ( $M_m$ );

Água destilada ( $M_a$ ), onde:

$$M_a = M_c * 0,25 + M_m * K$$

$K = 2,2$  para partículas passantes na # 50;

$K = 2,5$  para partículas passantes na # 100.

A pasta sem resíduos vegetais foi elaborada da seguinte forma:

Cimento: 200 g;

Água destilada: 50 ml

A medição das temperaturas foi realizada com o auxílio de termopar tipo J, o qual foi introduzido na mistura tão logo a mesma estivesse pronta, sendo, em seguida, colocada no recipiente de isopor. A leitura da temperatura foi feita a cada 15 minutos, e o registro feito manualmente utilizando-se um aparelho de coleta de dados com capacidade de 12 canais, de marca Colle Parmer.

Os dados coletados foram manipulados através do software EXCEL, obtendo-se as curvas de hidratação das pastas e das diferentes misturas testadas.

#### 3.4.2 - Análise da influência dos aceleradores sobre a hidratação do cimento

Os aditivos escolhidos foram o cloreto de cálcio (**CC**) e o sulfato de alumínio (**SA** - comercial e **SAP** - puro analítico), que são os mais comumente encontrados no mercado. Estes aditivos são denominados aceleradores pois propiciam aumento de resistência nas primeiras idades. O cloreto de cálcio aumenta a velocidade de desprendimento de calor nas primeiras

horas após a mistura. Conseqüentemente, o tempo de pega também é reduzido, podendo tal valor reduzir-se em até 85 minutos, para concentração de 1% em relação à massa de cimento (NEVILLE, 1982).

A mesma metodologia descrita no item anterior foi utilizada para analisar a influência do cloreto de cálcio e do sulfato de alumínio sobre a hidratação do cimento.

A pasta foi elaborada da seguinte forma:

Cimento: 200 g;

Água destilada: 50 ml.

Aceleradores – CC concentração de 3% em relação à massa de cimento;

SAP concentração de 1,5% em relação à massa de cimento;

SA com. concentração de 1,5% em relação à massa de cimento.

Foram feitos ensaios preliminares com o intuito de definir a concentração de cada aditivo, trabalhou-se inicialmente com concentração de 6% que mostrou-se inadequada por duas razões, a dificuldade em efetuar uma diluição adequada e o fato desta concentração provocar um tipo de falsa pega, por isso as concentrações foram reduzidas chegando à definição de 3% para o cloreto de cálcio e 1,5% para os aditivos à base de sulfato de alumínio.

#### 3.4.3 - Determinação do traço

Ensaio preliminares foram feitos para definir os traços a serem utilizados. As proporções testadas são apresentadas, em massa no Quadro 3.4:

Quadro 3.4 - Ensaio preliminar para determinação do traço:

TRAÇO	CIMENTO	AREIA	PARTÍCULA VEGETAL
T1	1	1,0	0,15
T2	1	1,5	0,15
T3	1	2,0	0,15

A quantidade de água foi definida de forma empírica conforme ensaio descrito por GRAM et al (1994), que visa conseguir a trabalhabilidade adequada para a produção de telhas. Este procedimento encontra-se descrito no anexo 1.

Com estes traços foram moldados corpos de prova cilíndricos  $\phi$  5 X 10 cm, os quais foram ensaiados à compressão simples e também telhas, que foram submetidas ao ensaio de flexão estática. Os resultados indicaram que os traços de relação cimento/areia de 1:1,5 e 1:2,0 deveriam ser descartados.

Novas dosagens foram executadas até serem definidos os traços T1 e T2 apresentados, em massa, no Quadro 3.5.

Quadro 3.5 - Traços definidos, em massa.

Traço	Cimento	Areia	Partícula	Fator a/c	
				S	P
T1	1	1,00	0,15	0,75	0,63
T2	1	1,25	0,15	0,79	0,65

As quantidades de água de amassamento foram diferentes, de acordo com a origem das partículas vegetais (Serragem ou Parafinado). Observou-se que o material parafinado necessitava de menor quantidade de água para alcançar a mesma trabalhabilidade. Tal fato deveu-se à impermeabilização parcial das partículas vegetais provocada pelo uso da parafina.

#### 3.4.4 - Moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos

Os corpos-de-prova foram moldados no laboratório de Sistemas Construtivos da FAU-UNIMEP. A mistura manual foi executada sendo os materiais adicionados na seguinte ordem:

**[ (Cimento + Areia) + Madeira ] + Água**

A compactação da mistura foi efetuada em 3 camadas acomodadas com golpes de espátula de 2 cm de largura, este procedimento foi utilizado de forma a permitir a ligação entre

as camadas através do posicionamento das fibras, o que não ocorreria com o uso do soquete normatizado. O processo de execução dos corpos-de-prova teve como referência a norma NBR 7215, no que diz respeito aos moldes, ao capeamento e à determinação da tensão de ruptura.

#### 3.4.5 - Processos de Cura

Foram aplicadas duas formas de processos de cura, a saber:

Cura Padrão (U): que consistiu em, imediatamente após a moldagem, colocar as fôrmas em uma câmara úmida montada em uma caixa plástica com tampa, na qual foi colocado no fundo um berço de pedra e areia, mantido constantemente encharcado, de forma a garantir uma umidade relativa alta. Os corpos-de-prova permaneciam no local por 24 horas, após o qual eram desmoldados e retornavam à câmara úmida até atingirem a idade de 7 dias. Em seguida, a cura prosseguia ao ar livre até que os corpos-de-prova atingissem a idade de 28 dias.

Cura a vapor (V): este processo de cura consistiu em submeter os corpos-de-prova a uma elevação da temperatura que se iniciava 2 horas após o lançamento da água, sendo a mesma elevada gradativamente até atingir 60 °C em 5 horas após o início do processo. Os corpos-de-prova eram mantidos nessa temperatura por mais 3 horas e, em seguida, eram resfriados naturalmente por mais 1 hora. A seguir, os corpos-de-prova eram colocados em câmara úmida até atingirem a idade de 7 dias e, posteriormente, curados ao ar livre até alcançarem a idade de 28 dias. A Figura 3.1 mostra a evolução da temperatura durante o processo de cura a vapor.

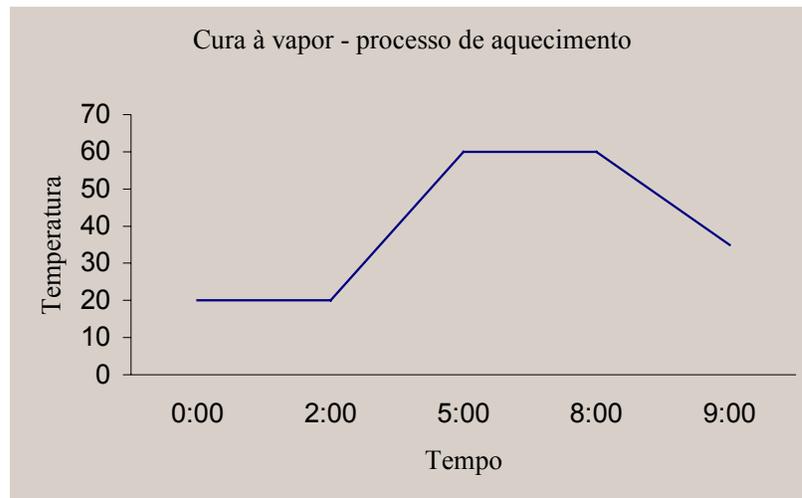


Figura 3.1 - Evolução da temperatura durante o processo de cura a vapor

As Figuras 3.2 e 3.3 mostram detalhes construtivos do dispositivo utilizado para efetuar a simulação da cura a vapor. Este dispositivo foi montado de forma similar ao equipamento existente em laboratório, da Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP, desenvolvido pela Professora Gladis Camarini.

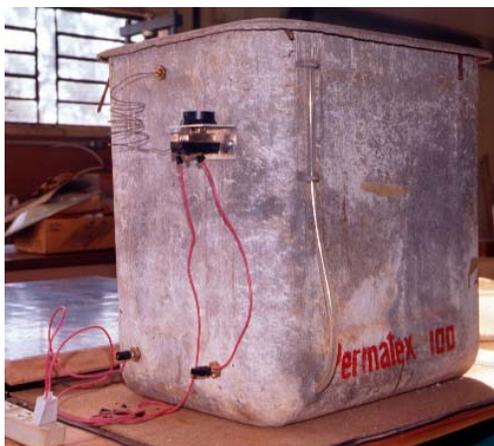


Figura 3.2 - Vista geral

Fotos: Ivan Moretti

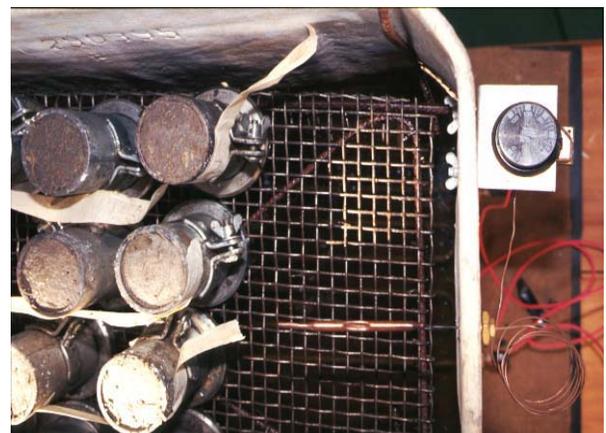


Figura 3.3 - Detalhe construtivo

Para cada tipo de tratamento utilizado foram moldados 3 corpos-de-prova (repetições) para serem submetidos à cura úmida e 6 corpos-de-prova para serem submetidos à cura a vapor, sendo 3 desses últimos rompidos com 9 horas de idade, e os demais aos 28 dias de idade.

#### 3.4.6 - Tratamentos Químicos

Três tipos de aceleradores foram utilizados visando minimizar o efeito inibitório dos extrativos da madeira sobre a hidratação do cimento:

Cloreto de Cálcio P.A.: concentração de 3% sobre a massa de cimento (**CC**);

Sulfato de Alumínio P.A.: concentração de 1,5% sobre a massa de cimento (**SAP**);

Sulfato de Alumínio comercial (produto utilizado para limpeza de piscinas): concentração de 1,5% sobre a massa de cimento (**SA**).

As concentrações foram definidas conforme já explicado anteriormente no item 3.4.3 e descrito no Anexo 1.

### 3.4.7 - Delineamento experimental

Foram combinados os seguintes fatores com a nomenclatura especificada conforme o Quadro 3.6:

Quadro3.6 - Delineamento experimental

<b>Fatores</b>	<b>Níveis</b>	<b>Nomenclatura</b>
Traço	Traço 1	T1
	Traço 2	T2
Matriz cimentícia	CP II-E-32	CPII
	CP V-ARI	ARI
Origem	Serragem	S
	Parafinado	P
Cura	Padrão	U
	Vapor	V
Tratamento físico	Natural	N
	Lavado	L
Tratamento químico	Testemunho	T
	Cloreto de cálcio	CC
	Sulfato de alumínio P.A.	SAP
	Sulfato de alumínio comercial	SA

### 3.4.8 - Ensaio de compressão simples

Os corpos-de-prova foram capeados com uma mistura de enxofre (80%) e caulim (20%). Com a idade de 28 dias foram ensaiados à compressão em máquina universal de ensaios, marca VEB Werkstoffprüfmaschinen, pertencente ao Departamento de Máquinas Agrícolas da FEAGRI – UNICAMP.

Dos corpos-de-prova que sofreram cura a vapor, três unidades por série, foram ensaiados com idade de 9 horas em máquina de ensaio Proctor manual, de capacidade de 5 t, pertencente ao laboratório de Sistemas Construtivos da FAU-UNIMEP, devido não haver tempo hábil de transportá-los e de ensaiá-los na mesma máquina a ser utilizada quando do ensaio realizado aos 28 dias, na FEAGRI.

A resistência à compressão simples de cada corpo-de-prova foi calculada dividindo-se a carga de ruptura pela área da seção, considerada constante. Os resultados do ensaio de compressão simples foram analisados pelo programa SANEST.

#### 3.4.9 - Ensaio de Absorção por Imersão

Com a idade de 21 dias os corpos-de-prova foram secos em estufa, até constância de massa à temperatura de 100 °C. Em seguida, foram submersos em água por cerca de 2 dias, até alcançarem novamente a constância de massa. A absorção foi calculada por:

$$A = \frac{(M_s - M_a)}{M_s} * 100\%$$

onde:

A= absorção em massa (%);

M<sub>s</sub> = massa da amostra saturada;

M<sub>a</sub> = massa da amostra anidra.

Após obter as 3 repetições, os resultados foram analisados pelo programa SANEST.

#### 3.4.10 - Determinação da variação dimensional

Os corpos-de-prova para a determinação da variação dimensional foram moldados por vibração em máquina de produção de telhas Parry Associates, conforme dispositivo apresentado na Figura 3.4. Para a determinação da variação dimensional utilizou-se procedimento descrito por ZUCCO (1999), ao estudar painéis prensados de compósito à base de cimento e casca de arroz. As dimensões dos corpos-de-prova foram de 76 mm x 152 mm e 8 mm de espessura.



Figura 3.4 - Dispositivo utilizado para a produção dos CP para determinação da variação dimensional

Os traços utilizados para a fabricação dos corpos-de-prova, para a análise de variação dimensional, foram aqueles que apresentaram melhor desempenho quando foi efetuada a análise dos resultados dos ensaios de resistência à compressão e de absorção. Tais traços foram obtidos quando se utilizou a matriz cimentícia CP V - ARI e o cloreto de cálcio como acelerador. O quadro 3.7 apresenta os traços testados no ensaio de variação dimensional.

Quadro 3.7 - Traços ensaiados quanto à variação dimensional

<b>Traço</b>	<b>Cimento</b>	<b>Acelerador</b>	<b>Origem</b>	<b>Cura</b>
T1	CP V - ARI	Cloreto de cálcio	Serragem	Padrão
T2		Testemunho	Parafinado	Vapor

Após um período de cura de 28 dias os corpos-de-prova foram pesados na condição seca ao ar, utilizando-se de uma balança Marte mod. A5500, com sensibilidade de 0,01 g. As dimensões das placas foram determinadas utilizando-se de um paquímetro digital marca MITUTOYO, com sensibilidade de 0,01 mm. Para a determinação da espessura dos corpos-de-prova optou-se pelo uso de um relógio comparador marca MITUTOYO, com sensibilidade de 0,001 mm.

Após as medições iniciais os corpos-de-prova foram imersos em água por períodos de 2, 24 e 120 horas. Ao final de cada um desses períodos foram efetuadas novas pesagens e medições, conforme descrito anteriormente para os corpos-de-prova na condição seca.

A variação dimensional foi calculada utilizando-se a seguinte expressão:

$$VD = \frac{L_u - L_s}{L_u} * 100\%$$

onde:

VD= variação dimensional em determinada direção (%);

$L_u$ = dimensão na condição saturada;

$L_s$ = dimensão na condição seca ao ar.

#### 3.4.11 - Método de análise estatística

Os resultados obtidos para resistência à compressão aos 28 dias e após 9 horas de cura a vapor, além dos resultados do ensaio de absorção, foram analisados pelo programa SANEST, aplicando-se o teste de Tukey para a comparação das média aritméticas e efetuou-se a análise de variância ao nível de 5% de significância.

### **3.5 - Métodos relativos às Telhas**

#### 3.5.1 - Moldagem das telhas

Foram moldadas no mínimo sete telhas por série. Para a moldagem foi utilizado o equipamento da Parry Associates, o qual promove o adensamento da mistura por vibração. Sobre a mesa vibratória desse equipamento foi colocado um filme plástico, cuja função era a de deslocar a massa adensada na dimensão final da telha (487 X 263 mm) para o molde, que daria à massa o formato da telha, conforme pode-se observar na Figura 3.5.

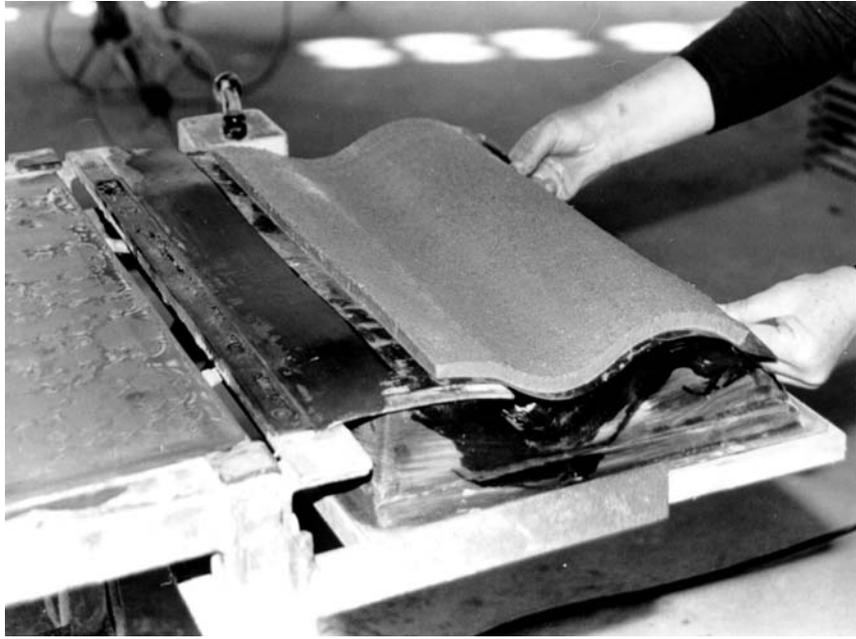


Figura 3.5 - Detalhe de produção das telhas

Foto: Ivan Moretti

Foram definidos dois traços para a execução das telhas, baseado no estudo preliminar dos compósitos:

**T1 / ARI / CC / S / U**

**T1 / ARI / CC / P / U**

Também foi testado um traço de referência, executado conforme orientação de OCHOA et al. (1993), que definiram o traço do micro-concreto em volume, cimento:areia:pedrisco, (1:2:1), este traço é equivalente ao seguinte traço em massa, (1:2,83:1,36,). Quanto à quantidade de água, esta foi definida pelo ensaio de trabalhabilidade,  $a/c = 0,66$ .

Após a moldagem as telhas permaneceram no molde por 24 horas e depois foram transferidas para a câmara úmida, onde foram mantidas até completarem 7 dias. Posteriormente, foram curadas ao ar livre até atingirem a idade de 28 dias, quando foram então ensaiadas.

### 3.5.2 - Ensaio de permeabilidade

O ensaio de permeabilidade foi baseado na NBR 13858-2. Sobre cada telha foi colocado um tubo plástico de diâmetro 1 ½", que permitia formar uma coluna de água de 250 mm de altura, conforme mostra a Figura 3.6.

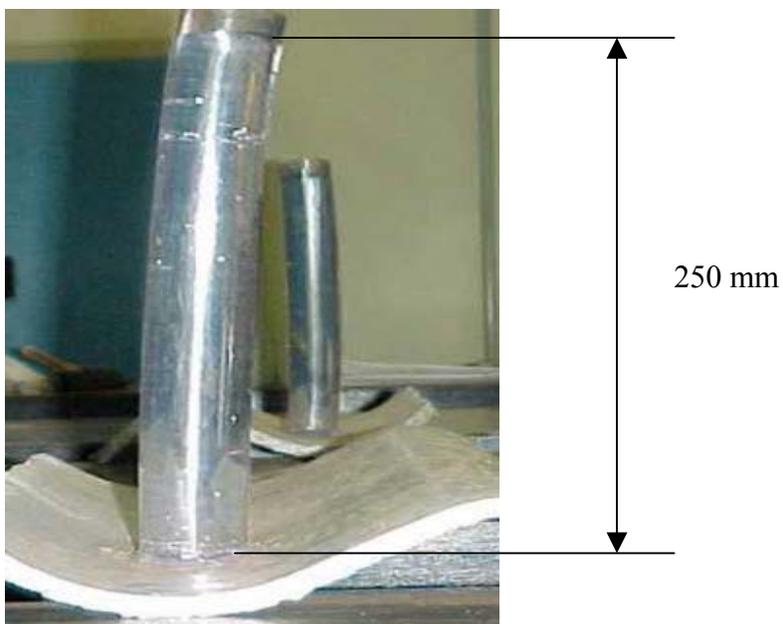


Figura 3.6 - Montagem do ensaio de permeabilidade

As telhas eram suspensas em cavaletes. Após 24 horas, foi observada a superfície inferior da telha e o estado em que a mesma se encontrava era registrado (sem mancha/ manchado/ úmida/ pingando).

### 3.5.3 - Ensaio de Ruptura à flexão

Esse ensaio foi realizado no laboratório do Departamento de Construções Rurais da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da USP em Pirassununga, seguindo orientação da NBR 13858-2. Foram feitas ligeiras modificações no tocante ao cutelo de aplicação de carga, o qual nessa norma é especificado como sendo uma barra cilíndrica. Devido às características geométricas da telha em estudo, optou-se por utilizar um cutelo cujo

formato moldava-se perfeitamente à telha, inclusive sendo ele revestido com um material flexível de dureza adequada, de forma que a carga fosse aplicada uniformemente ao longo do perfil da telha.

As telhas foram ensaiadas na idade de 28 dias, na condição saturada em água. Foi utilizada uma máquina universal de ensaios, marca EMIC modelo DL 30000, célula de carga de 5 KN e programa de controle M-Test v.1.01/96.

A velocidade de carregamento adotada foi de 5 mm/min e, ao se constatar redução de 70% da carga máxima de ruptura, interrompia-se o ensaio de forma a padronizar o cálculo da energia absorvida (área sob a curva no gráfico carga X deformação).

A Figura 3.7 mostra o dispositivo utilizado para o ensaio, sendo o vão adotado entre os cutelos inferiores igual a 350 mm, conforme recomendado por GRAM et al. (1994).

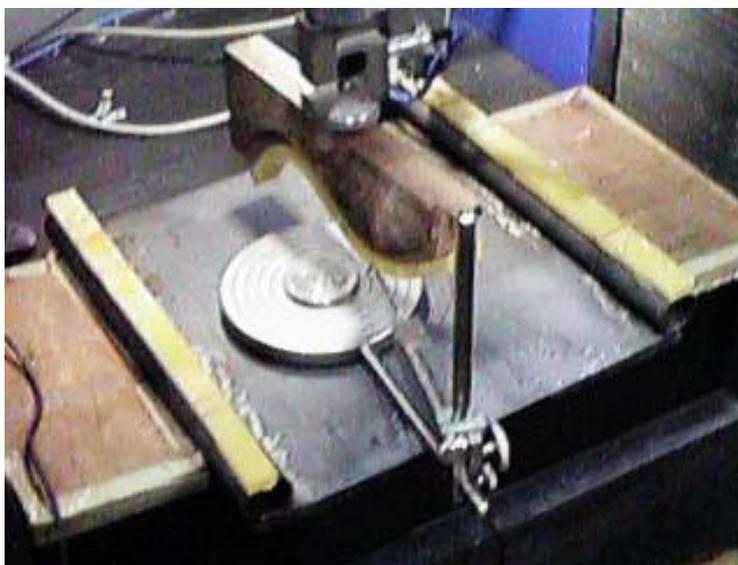


Figura 3.7 - Dispositivo para ensaio de flexão

#### 3.5.4 - Verificação da capacidade de isolamento térmico – ensaio comparativo

Para este ensaio foi necessário criar uma metodologia, que consistia em medir a temperatura na face inferior da telha e a 30 cm abaixo desta face, comparando as leituras efetuadas para telhas produzidas com o compósitos em estudo, para telhas produzidas com micro-concreto e para telhas de amianto encontradas no mercado.

Para garantir as mesmas condições de leitura de temperatura, foram fixados alguns parâmetros, tais como:

- Eliminar ao máximo o efeito do vento, instalando os termopares dentro de uma caixa, e sob a telha;
- Posicionar todas as telhas na orientação norte-sul, garantindo um mesmo ângulo de incidência solar;
- Fixar a inclinação das telhas em 20%.

A Figura 3.8 ilustra a caixa utilizada, com a qual se buscava eliminar ao máximo o efeito do vento, padroniza a inclinação da telha em 20% e mostra a posição dos sensores nas caixas. O termopar situado rente a telha foi definido como "Posição 1" e o termopar situado 30 cm abaixo da telha foi denominado "Posição 2".

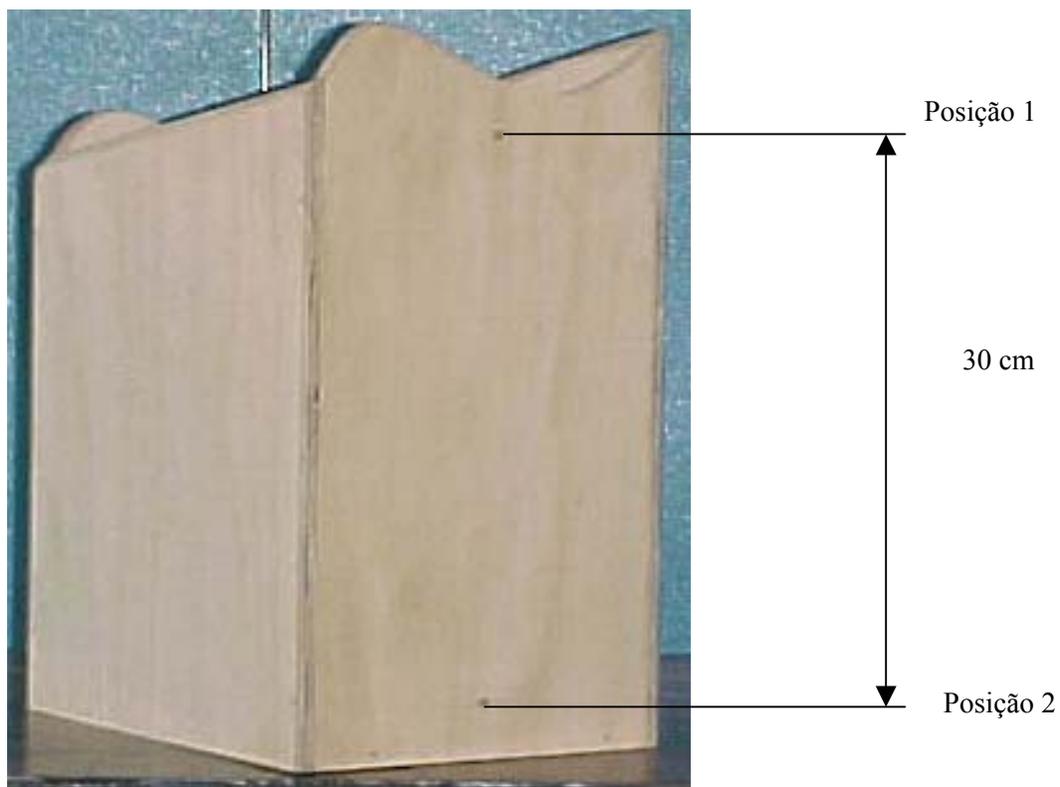


Figura 3.8 - Posição dos termopares - vista geral do dispositivo

Um termopar ou par termo-elétrico é formado pela junção de dois metais diferentes, estes quando estão em contato geram uma força eletro-motriz que aumenta com a temperatura e varia em grandeza e polaridade de acordo com o metal utilizado.

Embora quaisquer metais possam ser empregados na confecção de um par termo-elétrico, a prática selecionou os que melhor resultado apresentam. Assim os pares de cobre - constantan e ferro - constantan são geralmente empregados para temperaturas relativamente baixas (até 350° C e 750° C respectivamente) PEDROSO (1961).

Baseado nestas informações optou-se pelo uso do termopar tipo J, ou seja, ferro - constantan.

A Figura 3.9 mostra uma vista geral do ensaio; a Figura 3.10 mostra a bússola e o relógio de sol posicionados para orientar as telhas. No Anexo 2 encontram-se os cálculos efetuados para definir essa orientação, considerando o período de leituras nos meses de agosto e setembro de 2000.



Figura 3 9 - Vista geral

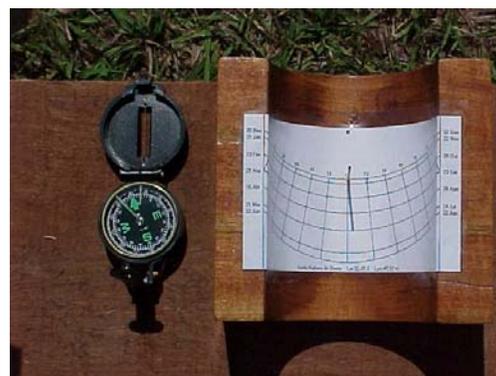


Figura 3.10 - Bússola e Relógio de sol

## 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Resultados relativos ao compósito

#### 4.1.1 A incompatibilidade química entre a matriz cimento e os agregados vegetais

As figuras 4.1 e 4.2 apresentam, respectivamente, as curvas de hidratação para as pastas de cimento CP II-E-32 e CP V-ARI, além da influência exercida em cada uma delas pela presença de partículas de material serragem e parafinado passantes pelas peneiras # 50 e # 100.

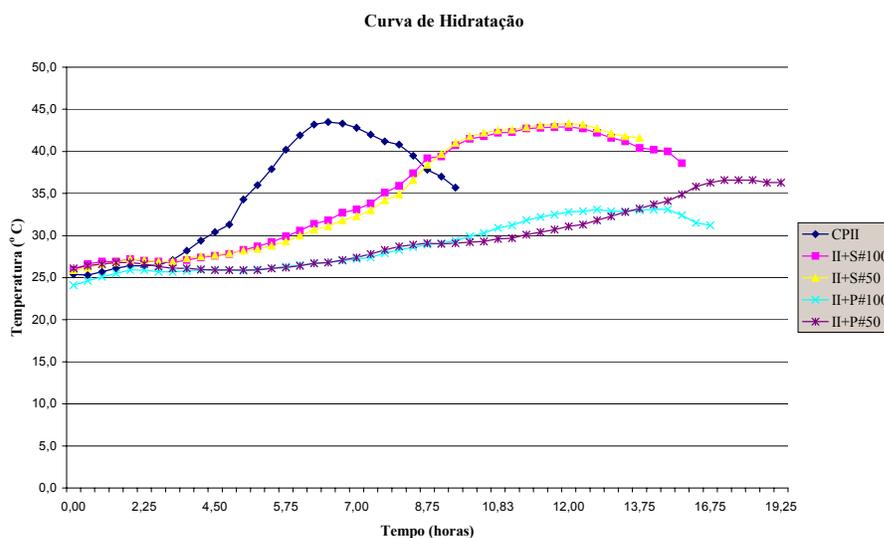


Figura 4.1 - Curva de hidratação - CP II-E-32

As partículas do material serragem, tanto aquelas passantes pela malha 100, assim como, aquelas passantes pela malha 50, atrasaram em, aproximadamente 6 horas, o tempo necessário para a obtenção da temperatura máxima de hidratação do cimento CP II-E-32. Contudo, a temperatura não sofreu uma diminuição significativa, podendo o material ser considerado, sob esse aspecto, como sendo aceitável para a mistura com o cimento. A temperatura de 50 °C é considerada como sendo a mínima necessária para caracterizar um material como aceitável para a produção de compósitos à base de cimento (SANDERMANN e KHOLE "apud" MOSLEMI e LIM, 1984).

Para o material parafinado o tempo para a obtenção da temperatura máxima sofreu um atraso ainda maior, de 7,5 horas para material passante na peneira 100, e de 11 horas para material passante na peneira 50. A temperatura máxima de hidratação foi reduzida a valores de 34 °C e 38 °C, respectivamente, para os materiais passantes nas peneiras precedentes. Por serem estas temperaturas máximas inferiores a 50 °C, este material pode ser considerado incompatível com a matriz cimentícia.

WEATHERWAX e TARKOW (1964, 1967) propuseram a análise da compatibilidade química entre a madeira e o cimento, baseado apenas no tempo (relativo à pasta de cimento), para que a mistura alcance a temperatura máxima de hidratação. Para misturas à base de CP II-E-32 pôde-se observar que o material parafinado e passante na #50 mostrou-se muito mais inibitório do que os materiais parafinado, passante na peneira #100, e serragem, passante pelas peneiras #50 e #100.

Pelo índice proposto por VALENZUELA (1989), o qual baseia-se na redução da temperatura da mistura quando comparada com aquela correspondente à pasta de cimento, constatou-se que o material parafinado também foi muito mais inibitório do que o material serragem.

A mesma tendência foi observada quando se calculou o índice proposto por MOSLEMI (1983), no qual englobam-se os fatores citados anteriormente, além da inclusão da inclinação máxima das curvas de hidratação.

De uma forma geral o resultado das análises efetuadas permitiu evidenciar para os dois tipos de cimento utilizados, tanto para o cimento CP II-E-32 como para o CP V-ARI, que o material serragem é menos inibitório do que o material parafinado:

CP II → S#50 < S#100 < P#100 < P#50

ARI → S#100 < S#50 < P#100 < P#50

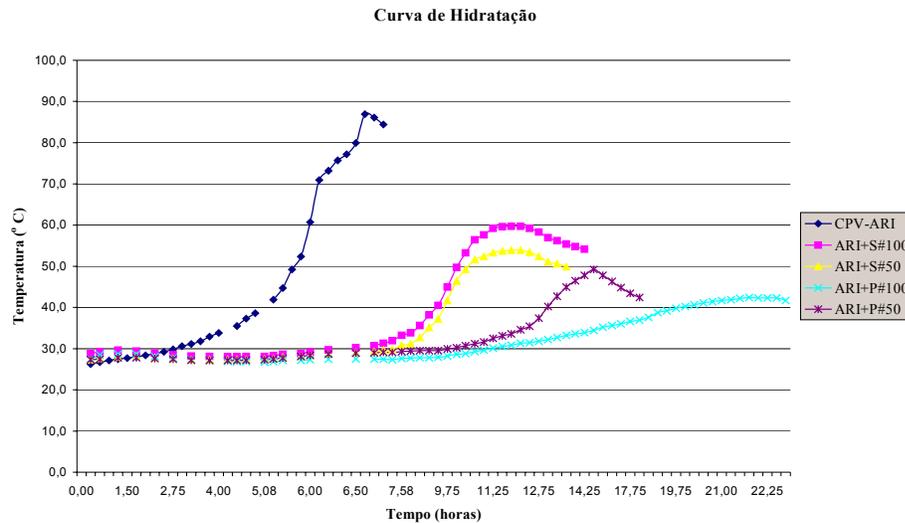


Figura 4.2 - Curva de hidratação - CP-V-ARI

As partículas do material serragem, tanto aquelas passantes na peneira 100, assim como na peneira 50, atrasaram em, aproximadamente, 5 horas, o tempo necessário para a obtenção da temperatura máxima de hidratação do cimento CP V-ARI. A temperatura máxima obtida foi reduzida de 84 °C para 60 °C e 55 °C, respectivamente. Em ambos os casos os materiais podem ser considerados aceitáveis para a produção de compósitos.

#### 4.1.2 - Influência dos aceleradores sobre a hidratação do cimento

As curvas de hidratação apresentadas nas Figuras 4.3 e 4.4 mostram o efeito dos aceleradores cloreto de cálcio e sulfato de alumínio (PA e comercial) sobre o processo de hidratação dos cimentos CP II-E-32 e CP V-ARI, respectivamente.

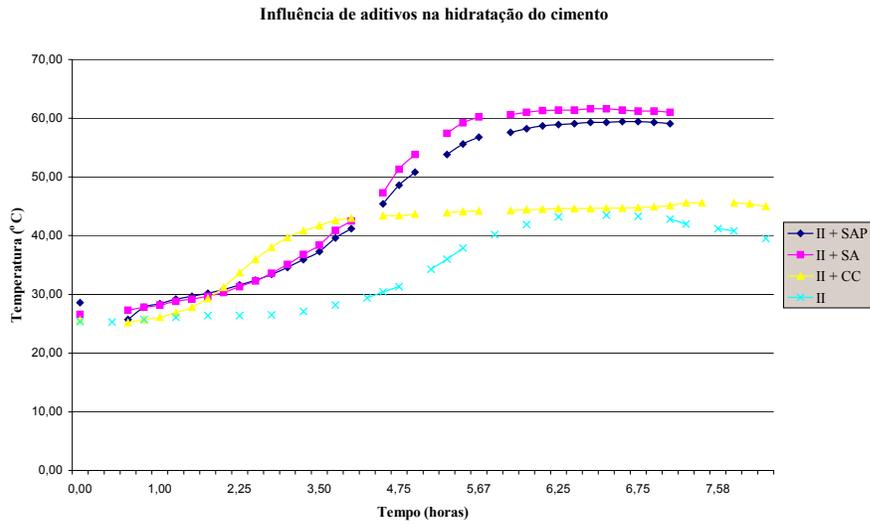


Figura 4.3 - Influência dos aceleradores sobre o cimento CP II-E-32

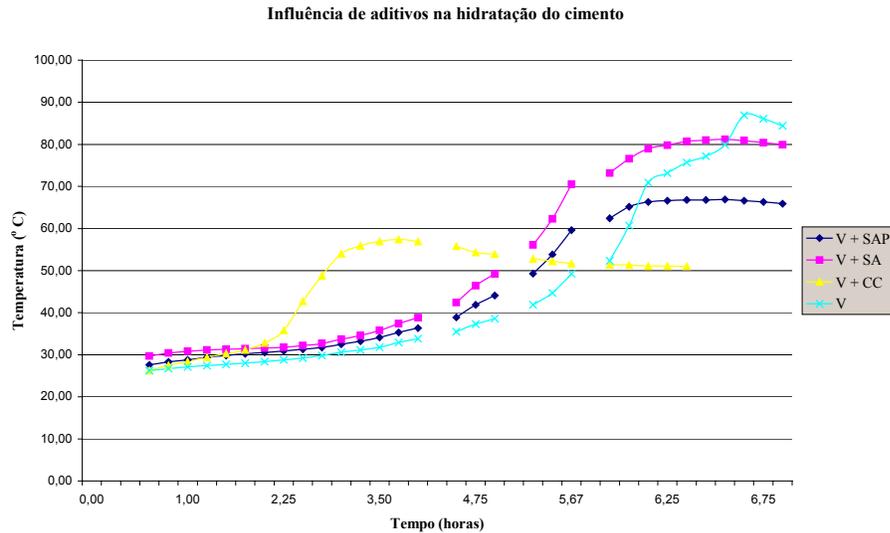


Figura 4.4 - Influência dos aceleradores sobre o cimento CP V - ARI

Para o cimento CP II-E-32 a adição de aceleradores à base de sulfato aumentou de forma significativa a temperatura máxima da reação de hidratação do cimento, porém o tempo necessário para obtenção da mesma não foi alterado. O cloreto de cálcio não alterou

a temperatura máxima, mas adiantou em, aproximadamente, 1,5 horas, a obtenção da temperatura máxima.

A maior velocidade de desprendimento de calor, observada na ação dos três aceleradores sobre o cimento CP II-E-32, mostrou que este cimento é mais suscetível à ação dos aditivos testados do que o cimento CP V-ARI, para o qual observou-se que apenas o cloreto de cálcio produziu maior velocidade de desprendimento de calor, antecipando o pico da temperatura de hidratação em, aproximadamente, 3 horas.

A pasta de cimento ARI teve sua temperatura máxima de hidratação reduzida quando do uso dos diferentes aditivos. Reações complexas ocorreram no seio das misturas e as explicações possíveis para tal fenômeno fogem do escopo do presente trabalho.

#### 4.1.3 - Análise da resistência à compressão simples

##### Resistência à compressão aos 28 dias:

Os valores da análise de variância mostraram que os fatores responsáveis pelas principais variações observadas na resistência dos compósitos, quando submetidos à compressão simples, foram o Cimento (F=926,18), seguido dos fatores Tratamento (F=131,13) e, com menor intensidade, a Cura, Origem, Traço e a combinação dos fatores Cimento e Cura. Os Anexos 3 e 4, apresentam os resultados de resistência à compressão aos 28 dias para os traços T1 e T2, respectivamente, considerando todas as combinações estudadas.

A média geral encontrada para a resistência à compressão aos 28 dias foi de 9,0 MPa, com coeficiente de variação de 9,4%. Estes resultados podem ser considerados bons para um material cuja finalidade venha a ser produzir elementos construtivos para vedação.

Efeito do fator Traço: Em uma análise global, considerando os demais fatores misturados, o traço T1 (9,50 MPa) foi estatisticamente superior ao traço T2 (8,53 MPa). Essa tendência se manteve quando foram analisados o fator traço dentro dos fatores cimento, origem, cura e tratamento. A única exceção ocorreu para o tratamento SA, onde o T1 (9,38 MPa) foi estatisticamente igual ao T2 (8,93 MPa). Quando foi analisado o fator traço, para cada combinação dos demais fatores, observou-se que o T2 apresentou melhor

desempenho que o T1, em algumas situações, como pode-se observar na Figura 4.5, para a combinação de uso do CP II-E-32; material Parafinado e curas Padrão (U) ou Vapor (V). Outra exceção foi a combinação de ARI+P+CURA+(SA ou SAP).

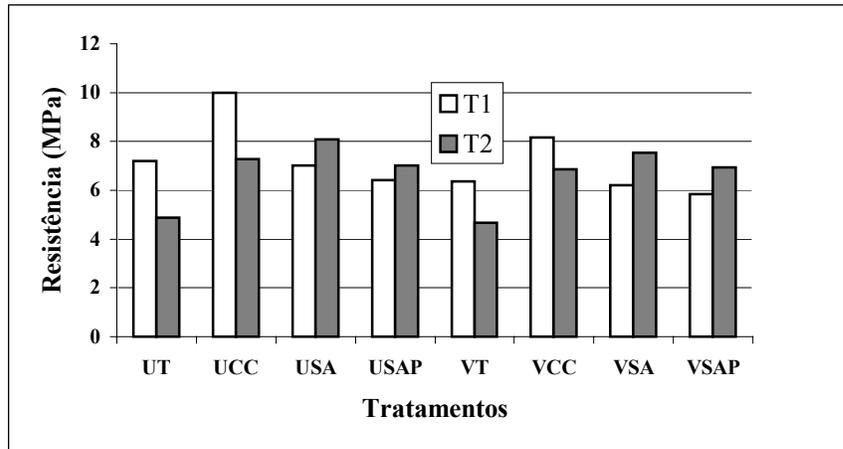


Figura 4.5- Influência do traço na resistência à compressão do compósito. Cimento CP II-E-32 e material parafinado.

Efeito do fator Cimento: Em uma análise global, o cimento ARI (10,45 MPa) foi estatisticamente superior ao CP II-E-32 (6,75 MPa). Essa tendência se manteve quando o fator cimento foi analisado dentro dos demais fatores, sem exceção. A Figura 4.6 mostra o desempenho dos dois tipos de cimento quando combinados T1 com Serragem, curas Úmida e Vapor e todos o Tratamentos efetuados (T, CC, SA e SAP). Embora o cimento ARI apresente maior custo do que o CP II-E-32, em termos de produtividade essa diferença tende a desaparecer, tanto que o ARI é o cimento mais utilizado por empresas de pré-moldados e de artefatos à base de cimento.

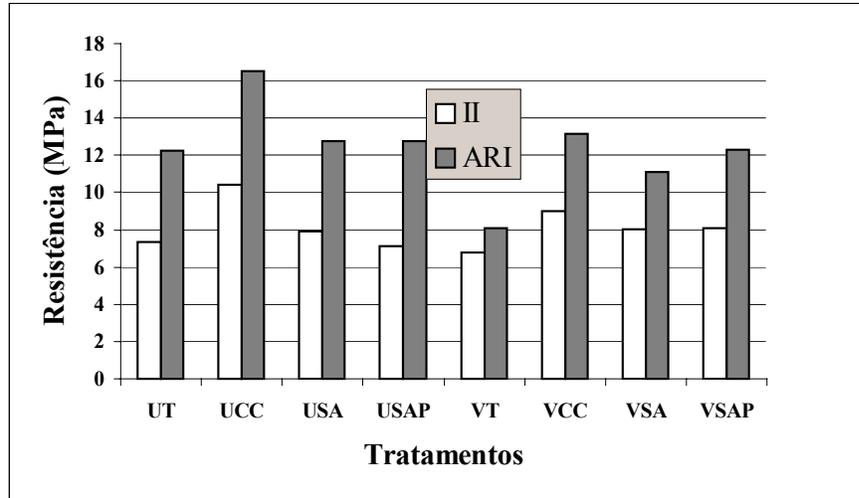


Figura 4.6- Influência do cimento na resistência à compressão do compósito. Traço 1 e material de serragem.

Efeito do fator Origem: Em uma análise global o desempenho do material Serragem (9,51 MPa) foi estatisticamente superior ao do material Parafinado (8,53 MPa). Esta tendência se manteve quando o fator Origem foi analisado dentro dos demais fatores em separado. Foram observadas algumas exceções, quando o fator Origem foi analisado para cada uma das combinações dos demais fatores (9 dentre 32 possibilidades de combinação), para as quais o material Serragem não foi estatisticamente diferente do material Parafinado. Isto significa que, em algumas situações, seria possível produzir compósito com a mistura dos dois materiais, embora as fontes de suprimento estejam muito distantes entre si. A Figura 4.7 mostra o desempenho de cada um dos materiais frente à combinação T1 + ARI + Tratamentos + Curas.

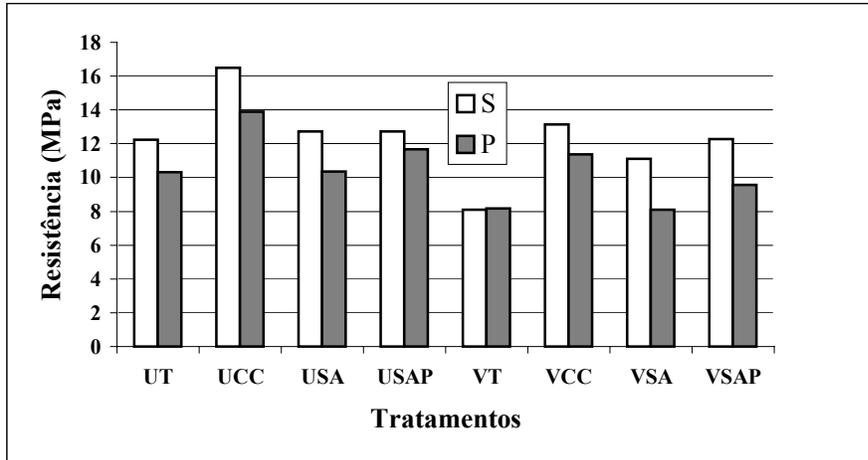


Figura 4.7- Influência da origem do material na resistência à compressão do compósito. Traço 1 e cimento CP V-ARI.

Efeito do fator Cura: Em uma análise global a cura Padrão apresentou melhor desempenho do que a cura a vapor, para resistência aos 28 dias (U (9,52 MPa) > V (8,51 MPa)). Essa tendência se manteve quando se analisou o fator Cura dentro dos demais fatores: Traço, Origem, ARI do fator Cimento e dentro dos níveis T, CC e SA do fator Tratamento. Para o CP II-E-32 do fator cimento e SAP do fator tratamento, não houve diferença estatística entre os tipos de cura. A Figura 4.8 apresenta o desempenho de cada tipo de cura frente à combinação dos fatores: T1 + CP II + Origem (S ou P) + Tratamentos. Um dos fatores que propiciam a menor resistência dos concretos curados a vapor é a pressão desenvolvida nos poros de ar durante o aquecimento, pois o ar tem um coeficiente de dilatação térmica maior do que o material que o envolve (NEVILLE, 1982).

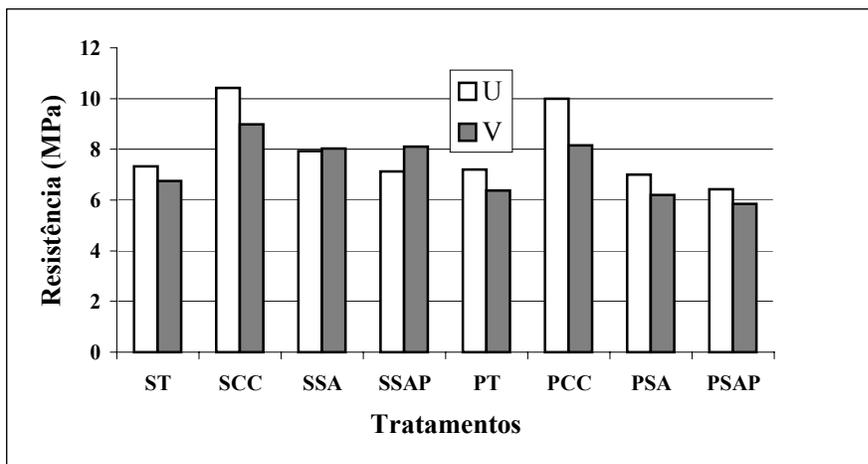


Figura 4.8- Influência do tipo de cura na resistência à compressão do compósito. Traço 1 e cimento CP II-E-32.

Efeito do fator Tratamento: Não se considerando os demais fatores envolvidos, o tratamento cloreto de cálcio (CC) foi superior aos demais, sendo seguido pelos tratamentos à base de sulfato de alumínio (SA e SAP), entre os quais não ocorreu diferença e do tratamento testemunho (T), sempre classificado como o pior tratamento (CC>SA=SAP>T). Dentro do fator Traço, o T2 mostrou uma situação de igualdade entre os tratamentos CC e SA, ambos superiores ao SAP, o qual, por sua vez, mostrou-se superior ao tratamento T. Dentro do fator Cimento, ocorreu uma inversão no desempenho dos tratamentos à base de sulfato de alumínio (CC>SA>SAP>T), quando foi utilizado o CP II-E-32. Dentro do fator Origem, o CC foi superior ao SA o qual, por sua vez, foi superior ao SAP para os dois níveis desse fator (serragem e parafinado). Dentro do fator Cura a tendência se manteve. Em apenas 4 situações das 16 possibilidades de combinação, o tratamento à base de SA conduziu a resultados próximos aos de CC (T2+CP II+ Origem + Cura). Em 7 outras combinações analisadas, constatou-se que o uso do tratamento SA não forneceu melhoria significativa quando comparado ao tratamento T. Neste caso, indica-se que se utilize o CC como tratamento. A Figura 4.9 apresenta os resultados das combinações T1 + ARI + Origem (serragem e parafinado) + Cura (padrão e vapor).

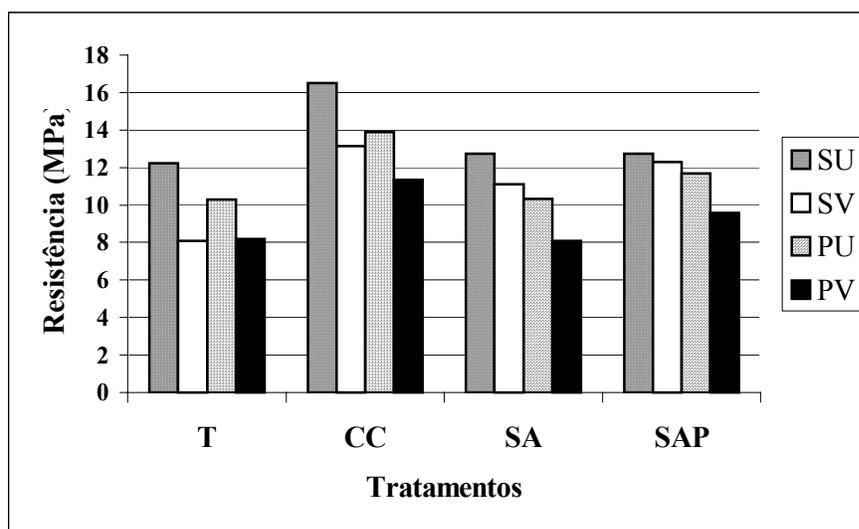


Figura 4.9- Influência do tipo de tratamento na resistência à compressão do compósito.  
Traço 1 e cimento CP V-ARI.

Efeito da Lavagem das partículas (Serragem): nas Figuras 4.10 e 4.11 apresentam-se os resultados obtidos com o uso de partículas lavadas, para o material proveniente de serraria, submetendo o compósito aos dois tipos de cura (padrão e a vapor). Na Figura 4.10, relativa ao uso do traço T1, não foi notado um efeito favorável da lavagem das partículas. Porém, quando do uso do traço T2, a lavagem mostrou substancial elevação da resistência do compósito em compressão (Figura 4.11).

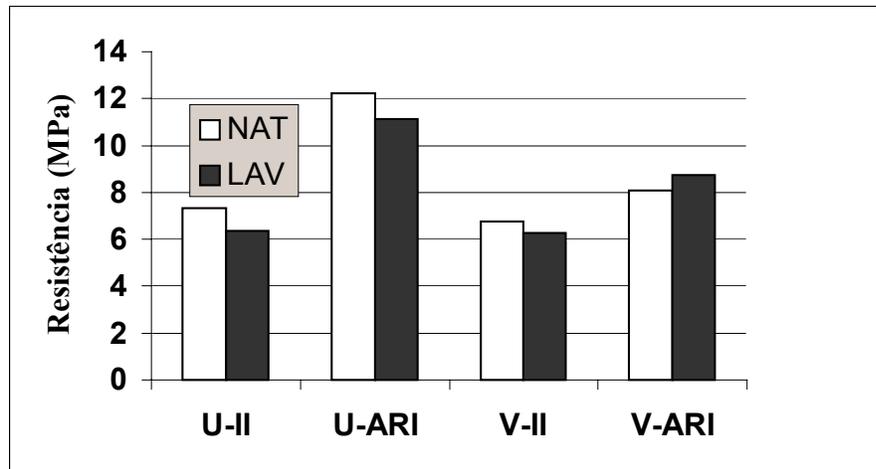


Figura 4.10- Influência da lavagem das partículas para o traço T1

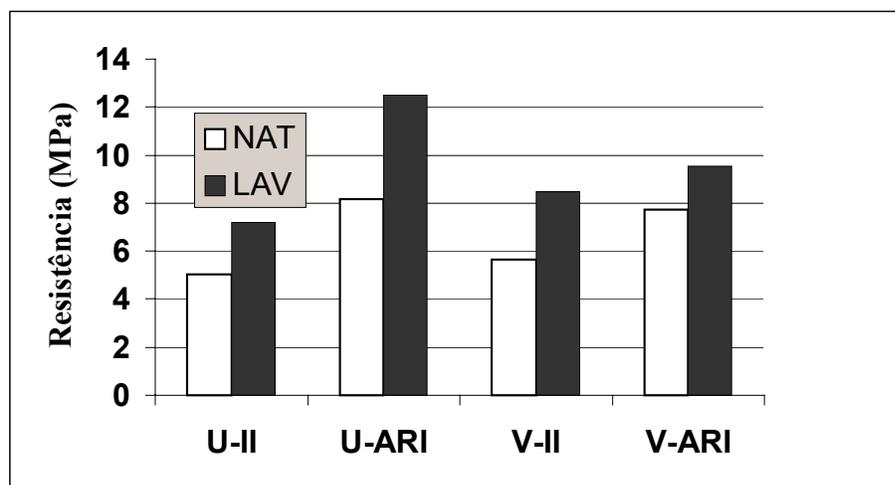


Figura 4.11- Influência da lavagem das partículas para o traço T2

#### Resistência à compressão simples na idade de 9 horas:

A resistência média obtida após o período de 9 horas da cura a vapor foi de 3,0 MPa, com coeficiente de variação de 7,58%. Esse valor correspondeu a quase 1/3 do valor médio obtido aos 28 dias, indicando que pode-se efetuar o manuseio do produto. O Anexo 5 apresenta os resultados do ensaio de compressão simples efetuados com 9 horas de idade.

Efeito do fator Traço: De maneira geral, não houve diferença estatística entre T1 (2,98 MPa) e T2 (3,01 MPa); em algumas situações o T2 foi superior ao T1, principalmente quando da utilização do cimento ARI.

Efeito do fator Cimento: Em geral, o cimento ARI apresentou resultado superior ao do CP II-E-32, sem exceções (ARI=3,01 MPa > CP II=2,09 MPa).

Efeito do fator Origem: Em geral, o material serragem (3,28 MPa) apresentou resultado superior ao parafinado (2,72 MPa). No entanto, em todas as situações onde foi utilizado o tratamento cloreto de cálcio, a situação se inverteu (P>S).

Efeito do fator Tratamento: Em uma análise global, o tratamento CC (5,14 MPa) foi superior ao tratamento SA (3,05 MPa), o qual, por sua vez, foi superior ao tratamento SAP (2,75 MPa) e este, por sua vez, foi superior ao tratamento T (1,05 MPa). Essa tendência se manteve quando o fator Tratamento foi analisado, dentro dos demais fatores, ocorrendo situações de igualdade entre os tratamentos à base de sulfato em três combinações de fatores quando foi utilizado o traço T2.

#### 4.1.4 Análise da capacidade de Absorção

Os valores da análise de variância mostraram que o fator Origem ( $F = 944,07$ ), seguido pelos fatores Cura ( $F = 248,28$ ) e Cimento ( $F = 193,72$ ), foram as principais causas da variação da absorção. O valor médio de absorção (20,26%), equivale ao limite máximo

permitido para materiais já normatizados, como tijolos cerâmicos e blocos de concreto. Os Anexos 6 e 7 apresentam os resultados obtidos neste ensaio para os traços T1 e T2 respectivamente.

Efeito do fator Traço: Em uma análise global, o Traço 1 apresentou estatisticamente menor absorção que o Traço 2 ( $T1=20,15 < T2=20,38$ ).

Efeito do fator Cimento: Em uma análise global o cimento ARI apresentou menor absorção do que o cimento CP II-E-32 ( $ARI=19,71 < CPII=20,81$ ); essa tendência se manteve quando o fator cimento foi analisado dentro dos demais fatores, sem exceções.

Efeito do fator Origem: Dentro desse fator, o material Parafinado apresentou, estatisticamente, menor absorção do que o material Serragem ( $P=19,04 < S=21,48$ ); essa tendência se manteve sem exceções, quando o fator origem foi analisado dentro dos demais fatores.

Efeito do fator Cura: Em uma análise global, a absorção foi estatisticamente inferior para a cura a vapor em relação à cura úmida ( $V=19,64 < U=20,89$ ). Porém, ocorreram duas ocasiões nas quais a situação se inverteu: T2 + ARI + Parafina + SA ou substituindo esse acelerador pelo cloreto de cálcio.

Efeito do fator Tratamento: Em uma análise global, o tratamento CC apresentou menor grau de absorção ( $CC=19,98 < SAP (20,13) = T (20,33) < SA=20,60$ ).

#### 4.1.5 - Análise da variação dimensional

O Quadro 4.1 apresenta a média das variações dimensionais para cada traço após 120 horas de imersão em água.

Pelo método utilizado para efetuar as medidas de espessura não foi possível efetuar leituras confiáveis. Tal fato pode ser observado nos resultados médios apresentados no

quadro 4.1, no qual se observam, inclusive, leituras negativas. Isto ocorreu porque a metodologia adotada para medir a espessura da placa, colocando e retirando o corpo-de-prova do local de posicionamento do relógio comparador, em cada fase do ensaio (2 h, 24 h e 120 h), não permitiu obter precisão adequada.

Outros fatores que contribuíram para inviabilizar a obtenção de resultados confiáveis neste ensaio foram:

- (i) o corpo-de-prova ter sido moldado por vibração e não por prensagem, como no ensaio realizado por ZUCCO (1999), o que lhe garantiu melhor uniformidade dimensional;
- (ii) A utilização, nesse experimento, de agregado mineral, que reduz consideravelmente a variação dimensional quando comparado a compósitos biomassa vegetal-cimento, tornando o equipamento utilizado (paquímetro) inadequado para medir as variações em largura e em comprimento.

Quadro 4.1 – Resultados de variação dimensional média após 120 horas

Traço	Espessura (mm)	Largura (mm)	%
T1/CC/S/U	-3,09	-0,01	0,06
T1/CC/S/V	-3,18	0,06	0,07
T1/T/S/U	-2,22	0,07	0,06
T1/T/S/V	-2,79	-0,35	0,11
T1/CC/P/U	-5,28	0,08	0,12
T1/CC/P/V	-6,00	0,09	0,07
T1/T/P/U	5,43	0,08	0,05
T1/T/P/V	5,52	0,00	-0,02
T2/T/S/U	5,37	0,04	0,08
T2/T/S/V	4,89	0,03	0,03
T2/T/P/V	5,58	0,14	0,09
T2/T/P/U	3,22	0,14	0,01
T2/CC/S/U	-0,34	0,02	-0,01
T2/CC/S/V	0,27	0,07	0,02
T2/CC/P/U	-0,48	-0,47	0,31
T2/CC/P/V	0,17	0,00	0,01

## 4.2 Resultados relativos à telha

### 4.2.1 - Avaliação da permeabilidade

Os resultados obtidos no ensaio de permeabilidade estão apresentados no Quadro 4.2.

Conforme especificado na NBR 13858-2, a superfície inferior da telha, abaixo da coluna de água, foi observada, e a condição em que a mesma se encontrava foi anotada. A classificação proposta por essa norma, para a condição da telha divide-se em:

- (i) sem mancha;
- (ii) manchada;
- (iii) formação de gotas aderentes;
- (iv) pingando.

Quadro 4.2 - Resultados do ensaio de Permeabilidade

Traço	CP	Condição
T1 com Serragem	07	s/ mancha
	08	Manchada
	10	s/ mancha
T1 com Parafinado	16	s/ mancha
	18	s/ mancha
	19	s/ mancha
Micro-concreto	25	Manchada

A Figura 4.12 mostra o estado da superfície inferior dos corpos-de-prova após a realização do ensaio.

Segundo a NBR 13858-2, "A telha não deve apresentar vazamentos nem a formação de gotas em sua superfície inferior, sendo porém tolerado o aparecimento de manchas de umidade quando submetidas ao ensaio para a verificação da permeabilidade". Portanto, as telhas produzidas, tanto com o material serragem como com o material parafinado,

atenderam à especificação dessa norma, visto que a permeabilidade limitou-se ao aparecimento de manchas na face inferior.



Figura 4.12 - Vista da superfície inferior de algumas telhas ensaiadas após o ensaio de permeabilidade.

#### 4.2.2 – Avaliação da Resistência à flexão estática

O ensaio foi aplicado às telhas de 8 mm de espessura e 262 mm de largura, o vão entre apoios foi de 350 mm.

O Quadro 4.3 apresenta os resultados de Força de ruptura, bem como os de Energia absorvida, Energia específica e Espessura média de cada corpo-de-prova, medidos na seção de ruptura, obtidos neste ensaio. O desvio padrão  $s$  também foi apresentado.

Quadro 4.3 - Resultados do ensaio de flexão estática.

CP	Espessura Média (mm)	Força (N)	Força Média (N)	Energia (N.mm)	Energia Média (N.mm)	Energia Específica (N.mm/mm <sup>2</sup> )	Energ. Espec. Média (N.mm/mm <sup>2</sup> )
S-1	9,363	555,3	535,34 s = 41,93	1116,0	1291,04 s = 273,63	0,455	0,56
S-2	9,057	589,7		1423,0		0,600	
S-3	8,553	542,6		1672,0		0,746	
S-4	8,973	506,8		965,2		0,411	
S-5	8,480	482,3		1279,0		0,576	
P-1	10,133	569,3	494,48 s = 53,47	1172,0	921,88 s = 269,05	0,441	0,38
P-2	8,973	494,2		711,1		0,302	
P-3	10,257	513,2		1030,0		0,383	
P-4	8,233	424,0		1131,0		0,524	
P-5	8,210	471,7		565,3		0,263	
R-1	10,493	921,7	745,52 s = 153,76	996,5	605,64 s = 280,01	0,362	0,25
R-2	7,840	547,6		399,8		0,195	
R-3	10,463	879,6		526,0		0,192	
R-4	9,070	695,0		322,1		0,136	
R-5	8,580	683,7		783,8		0,349	

S = Serragem; P = Parafina; R = Referência (micro-concreto)

A Figura 4.13 ilustra curvas de carga versus deformação do ensaio de ruptura à flexão, para telhas produzidas com o material Serragem; a Figura 4.14, mostra curvas similares obtidas quando do ensaio de telhas produzidas com o traço referência (micro-concreto).

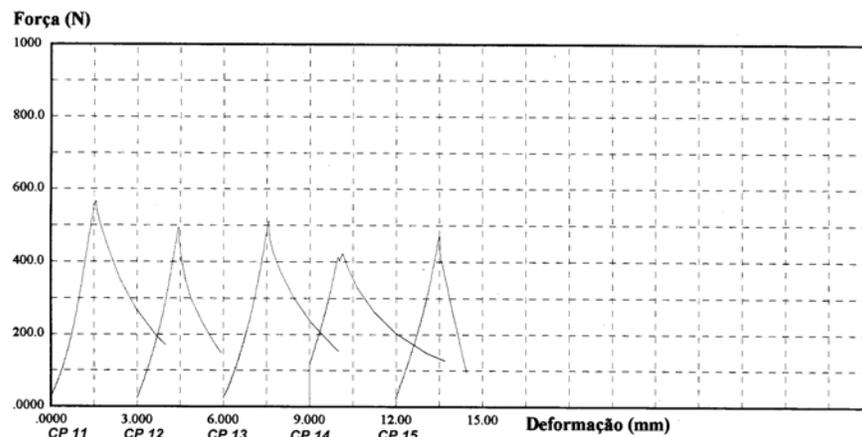


Figura 4.13 - Carga x Deformação – Serragem

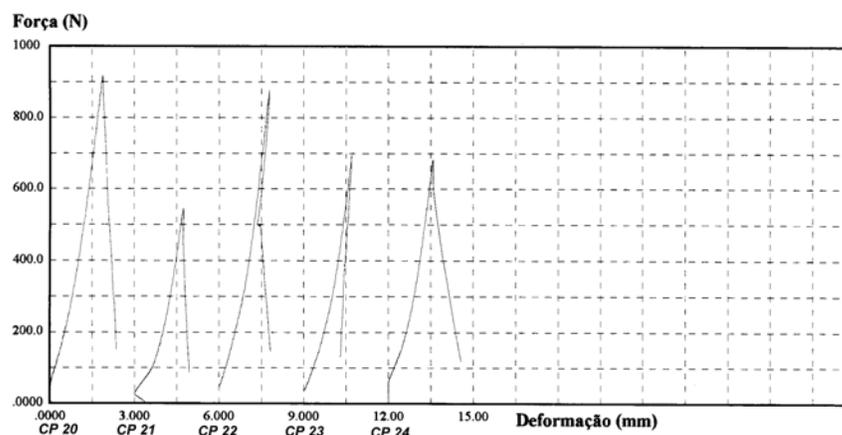


Figura 4.14 - Carga x Deformação - Micro-concreto

Nota-se que as curvas do compósito executado com material Serragem, em alguns casos (CP 12 e 14), apresentam um pequeno patamar, próximo ao pico, o que demonstra que, após o aparecimento da primeira fissura na matriz, durante um breve período de tempo, as fibras suportaram a carga aplicada, caracterizando a ruptura dúctil do material. Por outro lado as curvas referentes às telhas de micro-concreto apresentaram picos acentuados que evidenciaram a característica de ruptura frágil do material.

Tal fato pode ser evidenciado pela magnitude da energia absorvida, a qual para o material parafinado foi de cerca de 50% superior à do traço de referência; para o material serragem foi 100% superior, provavelmente porque este último material apresenta partículas espiraladas, as quais mostram maior aderência com a matriz. Por outro lado as partículas impregnadas com parafina apresentaram menor aderência

Os resultados de força máxima neste ensaio foram comparados às especificações propostas por GRAM et al. (1994) para telhas produzidas pelo mesmo processo utilizado no presente estudo. Os autores propõem, para telhas de 8 mm de espessura, que a carga mínima deva ser de 500 N, para telha ensaiada na condição seca, e este valor deva ser reduzido em 15%, para telhas ensaiadas na condição saturada, ou seja 425 N.

As telhas, tanto aquelas fabricadas com material serragem, como aquelas fabricadas como com o material parafinado, apresentaram resultados aceitáveis, embora inferiores ao resultado obtido com o material de referência.

### 4.2.3 - Avaliação do isolamento térmico

Foram efetuadas medidas de temperatura em vários dias. As figuras 4.15 a 4.18 apresentam os resultados das leituras referentes a cada tipo de telha, ensaiadas no dia 22/09, em que a temperatura máxima ambiente atingiu 39 °C.

A indicação (Posição 1) é referente ao termômetro posicionado junto à telha, (Posição 2) é referente ao termômetro posicionado 30 cm abaixo da telha e (T. Ambiente) referente à temperatura ambiente.

A Figura 4.15 apresenta o desenvolvimento das temperaturas nas posições 1, 2 e temperatura ambiente para a telha produzida com material serragem.

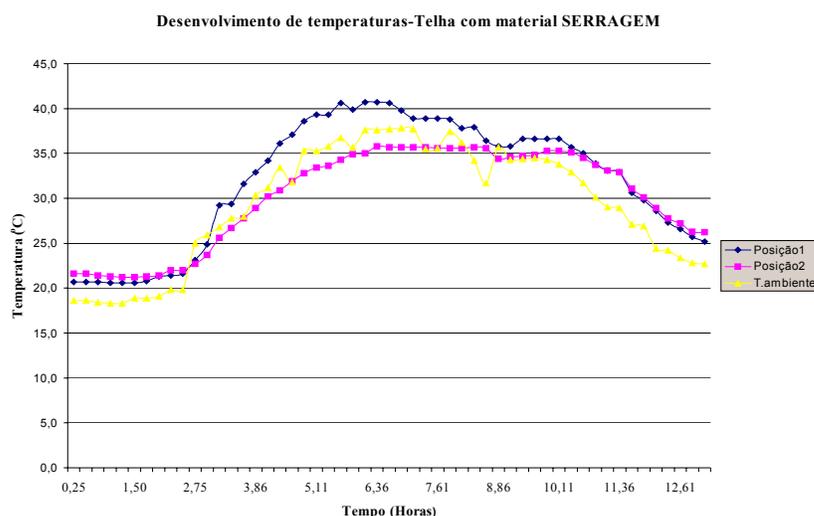


Figura 4.15 – Desenvolvimento das temperaturas – Telha executada com material SERRAGEM

Pode-se observar que, no horário de maior temperatura ambiente (das 11:00 às 12:30 horas), a diferença de temperaturas entre as posições 1 e 2 foi de 5 °C, e que a temperatura ambiente foi, neste horário, superior à temperatura na posição 2.

A partir das 14 horas a temperatura ambiente se igualou à temperatura na posição 2, e a situação se inverteu, ficando a temperatura dentro da caixa superior à temperatura ambiente.

A Figura 4.16 apresenta o desenvolvimento das temperaturas nas posições 1, 2 e Temperatura Ambiente, para a telha produzida com material parafinado.

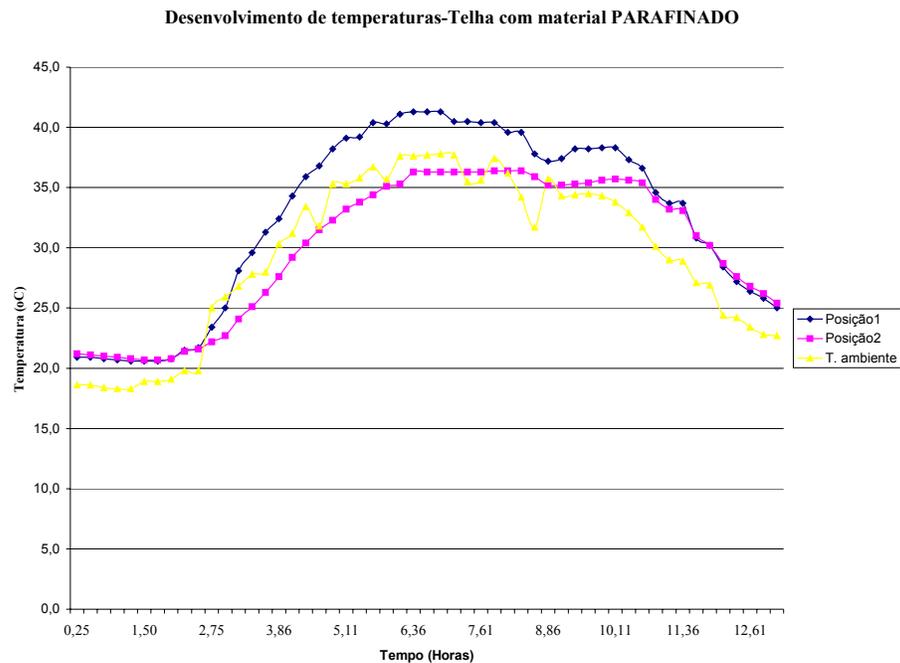


Figura 4.16 – Desenvolvimento das temperaturas – Telha com material PARAFINADO

Pode-se observar que, no horário de maior temperatura ambiente, a diferença de temperatura entre as posições 1 e 2 foi de 5 °C, e que a temperatura ambiente neste horário foi superior à temperatura na posição 2.

A partir das 12 horas a temperatura ambiente se igualou à temperatura na posição 2, e a situação se inverteu.

A Figura 4.17 apresenta o desenvolvimento das temperaturas nas posições 1, 2 e Temperatura Ambiente para a telha de Amianto.

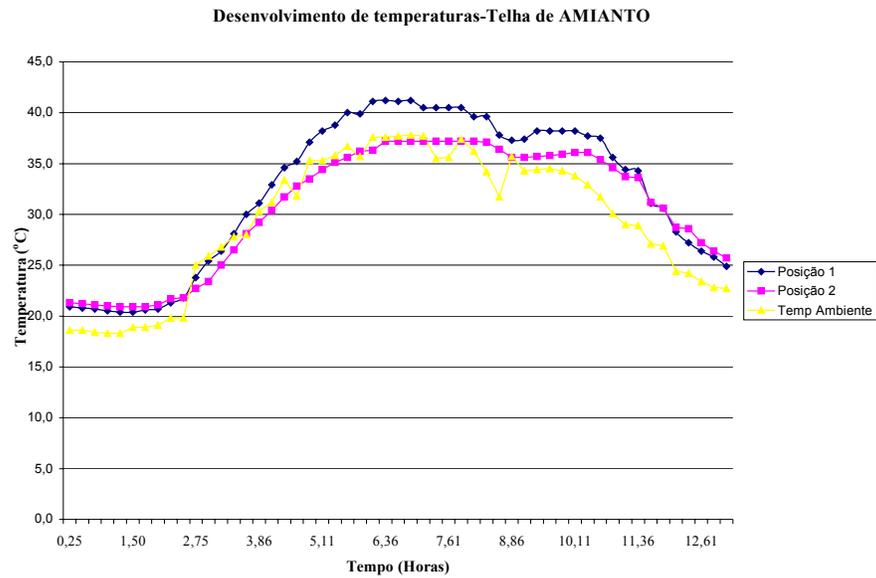


Figura 4.17 – Desenvolvimento das temperaturas – Telha de AMIANTO

Pode-se observar que, no horário de maior temperatura ambiente, a diferença de temperatura entre as posições 1 e 2 foi de 4 °C, e que a temperatura ambiente neste horário foi superior à temperatura na posição 2.

A partir das 11:30 horas a temperatura ambiente se igualou à temperatura na posição 2, e a situação se inverteu.

A Figura 4.18 apresenta o desenvolvimento das temperaturas nas posições 1, 2 e Temperatura Ambiente para a telha de micro-concreto.

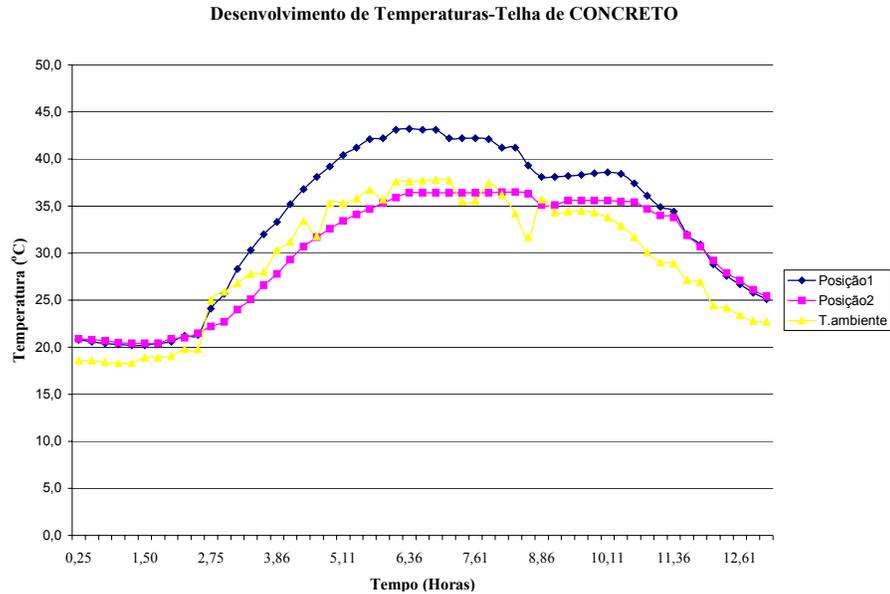


Figura 4.18 – Desenvolvimento das temperaturas – Telha de CONCRETO

Pode-se observar que, no horário de maior temperatura ambiente, a diferença de temperatura entre as posições 1 e 2 foi de 6,7 °C, e que a temperatura ambiente neste horário foi superior à temperatura na posição 2.

A partir das 13 horas a temperatura ambiente se igualou à temperatura na posição 2 e a situação se inverteu.

Foram feitas leituras em vários dias e o comportamento foi similar àquele apresentado nas figuras precedentes.

As diferenças de comportamento entre as telhas testadas não foram tão marcantes quanto se supunha. Provavelmente o material com o qual foram executadas as caixas de apoio das telhas contribuiu para a elevação da temperatura interna das mesmas de forma significativa, tornando as diferenças registradas insignificantes. Esta metodologia utilizada não foi, no entanto, inadequada. Estudos posteriores poderão ser realizados desde que se utilize caixas fabricadas com material isolante, ou que disponham de revestimentos protetores, tais como mantas aluminizadas.

## 5 – CONCLUSÕES

a) Em relação às partículas vegetais:

- Os materiais utilizados mostraram-se moderadamente inibitórios à pega dos tipos de cimento utilizados. Quando do uso do CP II-E-32 observou-se substancial diminuição do pico de temperatura. Para o CP V-ARI o efeito inibitório foi menos acentuado.
- O material Serragem mostrou-se menos inibitório do que o material Parafinado. Produtos químicos utilizados na impregnação da madeira, no processo de fabricação do lápis, provocaram efeito adverso na hidratação do cimento.

b) Em relação ao compósito:

Na maior parte dos casos analisados, observou-se que:

- Corpos-de-prova produzidos com o traço T1 (1:1:0,15), mostraram-se superiores àqueles fabricados com o traço T2 (1:1,25:0,15), quando ambos foram submetidos a ensaio de compressão simples aos 28 dias.
- O cimento ARI mostrou-se mais adequado do que o CP II-E-32. Tal fato foi denotado analisando-se tanto a resistência à compressão simples como sua menor capacidade de absorção.
- Todos os tratamentos químicos empregados apresentaram melhor desempenho do que o testemunho. Dentre os aceleradores utilizados o Cloreto de cálcio foi superior aos sulfatos de alumínio (puro para análise ou comercial).
- O material serragem mostrou um desempenho superior no ensaio de compressão simples em relação ao material parafinado. No entanto, fato contrário verificou-se

quando dos testes de absorção, nos quais o material parafinado, em vista de sua natureza, mostrou melhor desempenho.

- A cura úmida foi mais adequada do que a cura a vapor, quando do ensaio de compressão simples efetuado aos 28 dias após a fabricação. No entanto, ensaios conduzidos 9 horas após a fabricação evidenciaram que a cura a vapor pode ser uma alternativa viável para o manuseio precoce do material.

c) Em relação às telhas onduladas:

- As telhas produzidas com o compósito em estudo apresentaram resistência mecânica compatível com as normas específicas para a produção deste tipo de material, apesar dos resultados obtidos serem inferiores (resistência mecânica e permeabilidade) àqueles correspondentes às telhas produzidas com micro-concreto (traço de referência). Porém, as características de ductilidade, o desempenho térmico e a baixa massa específica trazem a este material características vantajosas, que devem possibilitar futuramente a sua utilização.

## 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. Rio de Janeiro**

NBR 5733 Cimento Portland de Alta Resistência Inicial, especificação, 1991, 5p.

NBR 7211 Agregados para Concreto, especificação, 1983.5p.

NBR 7215 Cimento Portland: Determinação da resistência à compressão, método de ensaio, 1996, 8p.

NBR 7217 Agregados: Determinação da composição granulométrica, método de ensaio, 1987, 3p.

NBR 11578 Cimento Portland Composto, especificação, 1991, 8p.

NBR 12006 Cimento: Determinação do calor de hidratação pelo método da garrafa de Langavant, método de ensaio, RJ, 1990, 4 p.

NBR 13858-2 Telhas de concreto: Requisitos e métodos de ensaio, 1997, 10p.

**AKUTSU, M.; SATO, N. M. N.** 1988 "Propriedades termofísicas de materiais e componentes de construção". Tecnologia das Edificações, Coletânea de trabalhos da divisão de Edificações do IPT, Ed. PINI, São Paulo, p. 519-522.

**BERALDO, A. L.** 1997 "Compósitos Biomassa vegetal-Cimento". In: Simpósio. "Materiais Não Convencionais para Construções Rurais". Campina Grande, UFPB, Editores Romildo Dias Toledo Filho, José Wallace Barbosa do Nascimento, Khosrow Ghavami, p. 01-48.

**BERALDO, A. L.; ROLIM, M. M.** 1996 Efeito de tratamentos sobre a resistência à compressão de compósitos cimento-madeira de reflorestamento, In: CADIR 96 - IV Congresso Argentino Y II Internacional de Ingeniaria Rural - Anais, v.10, p. 773-778.

**BIBLIS, E. J.; LO, C.** 1968 "Sugar and others wood extractives: Effect on the setting of Southern-pine cement mixtures", Forest Products Journal, v. 18(8), p. 28-34.

**GOLFARI, L.; CASER, R.L.; MOURA, V.P.G.** 1978 "Zoneamento Ecológico Esquemático para Reflorestamento no Brasil", PRODEPEF, Série Técnica n. 11, p. 7-66.

**GRAM, H; CUT, P.** 1994 Directives pour le controle de qualite. St. Gallen: SKAT/BIT, Serie Pedagogique TFM/TVM, Outil 23, 69 p.

**IRLE, M.; SIMPSON, H.** 1992 "Agricultural residues for cement bonded composites", In: Inorganic - Bonded wood and fiber composite - materials conference, v. 3, p. 54--58.

**JAIN, V. K.; SHUKLA, K. S.; SATISH, K.** 1989 "Heat of hydration studies on cellulosic materials and cement systems". J. Timb. Develop. Assoc. (Índia), v. XXXV, n 2, p. 19-32.

**LEE, A.W.C.; HONG, Z.** 1986 "Compressive strength of cylindrical samples as an indicator of wood - cement compatibility". In: Forest Research Society Products, v. 36(11/12), p. 87-90.

**MANZANARES, K.; VELASQUEZ, D.; VALDEZ, J.L.; MORALES,F.** 1991 "Comunicacion coeficiente de aptitude de tres especies florestales para formar aglomerados de madera - cemento", In: Revista Florestal Baracoa, v. 21(1), p. 59-73.

**MOSLEMI, A.A.; PFISTER, S.** 1987 "The influence of cement/wood ratio and cement type on bending strength and dimensional stability of cement-wood composite panels", In: Wood and Fiber Science, v. 19(2), p. 165-175.

**MOSLEMI, A. A.; LIM, Y. T.** 1984 Compatibility of southern hardwoods with Portland cement In: Forest Products Journal, v. 34 (718), p. 22-26.

**MOSLEMI, A. A; GARCIA, J. F.; HOFSTRAND, A. D.** 1983 "Effect of various treatments and additives on wood – Portland cement-water system". Wood and Fiber Science, v. 15(2), p. 76-164.

**NEVILLE, A.** 1982 "Propriedades do concreto" SP, Ed. Pini, p. 61-341.

**OCHOA, E.; ODUL, P.; DOULINE, A.** 1993 "Manual para la fabricacion y el uso de la teja T.M.C. micro-concreto" CRATerre-EAG, Grenoble, Francia, 18 p.

**PEDROSO, L. A. P.** 1961 "Pesquisas sobre conforto térmico de casas de solo-cimento no Brasil" Revista do Clube de Engenharia, n. 297, p. 9-16.

**PIMIENTA, P.; CHANDELLIER, J.; RUBAUD, M.; DUTREL, F.; NICOLE, H.** 1994 In: Étude de faisabilité des procédés de construction à base de béton de bois; CAHIERS DU CSTB, p. 12-36.

**SANDERMANN, W.; PREUSSER, H.J.; SCHWIENS, W.** 1960 "The effect of extractives on the setting of cement - bonded wood materials", In: Holzforschung, v. 14, n. 3, p. 70-77.

**SAVASTANO, H. J.** 2000 "Viabilidade do aproveitamento de resíduos de fibras vegetais para fins de obtenção de material de construção", Revista Brasileira de Eng. Agrícola e Ambiental, Campina Grande PB, DEAg / UFPB, v. 4, n. 1, p. 103-110.

**SKAT** (Centre de Coopération Suisse pour la Technologie et le Management) 1989. Manual Técnico; Información Básica sobre Techos de Micro Concreto y Fibro Concreto, v.10, p. 2-3.

**VALENZUELA,W.** 1989 Contribution à la détermination de l'aptitude d'essences forestières pour la fabrication de panneaux de fibro-ciment, Belgique: Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, Tese de Doutorado em Ciências Agronômicas, 135 p.

**WEATHERWAX, R.C.; TARKOW, H.** 1964 "Effect of wood on setting of Portland cement", Forest Products Journal, v. 14, p. 567-570.

**ZUCCO, L.** 1999 "Estudo da viabilidade de fabricação de placas de composto à base de cimento e casca de arroz". Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, FEAGRI - SP, p. 118.

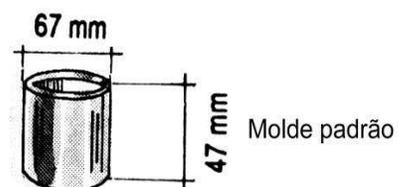
## **ANEXOS**

## ANEXO 1

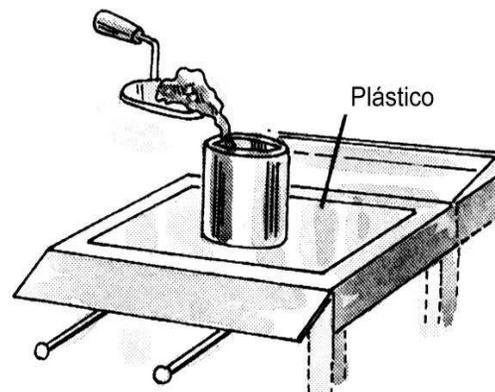
### Preparação do micro-concreto - Teste de trabalhabilidade

A trabalhabilidade da mistura pode ser medida da seguinte forma:

Colocar um filme plástico sobre a mesa vibratória.



Colocar o molde padrão no centro da mesa. Segurar o molde sobre a mesa e enchê-lo com micro-concreto.



Preencher o molde com argamassa

Adensar o material com 20 golpes de soquete.



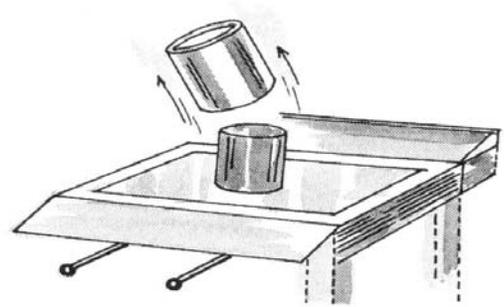
Adensar a argamassa

Retirar o excesso e alisar a superfície do molde utilizando uma colher de pedreiro.



Remover o excesso

Remover o molde e iniciar a vibração, mantendo-a por um período de 10 segundos.

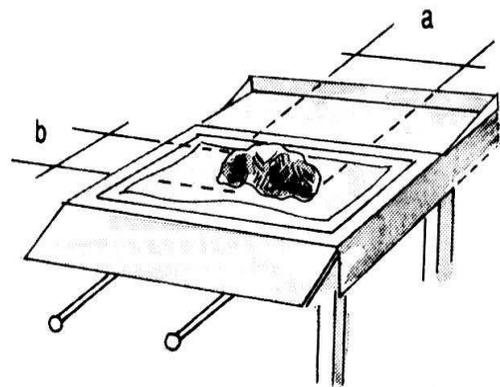


Medir o maior e o menor diâmetros do material esparramado.

A trabalhabilidade é dada por:

$$T = \frac{a+b}{2}$$

Deve-se trabalhar com um valor de **T** entre 24 e 26 cm.



Fonte: Quality Control Guidelines, 1991, Hans Gram and Paul Gut, SKAT - Swiss Center for Appropriate Technology International Labour Office, vol 23, p 23-24.

## ANEXO 2

Calculo da declinação magnética para o Campus da UNIMEP de S.Bárbara d' Oeste

### Localização

Cidade: Santa Bárbara d' Oeste

Latitude: 22° 45' S

Longitude: 47° 10' W

### Para o cálculo da Declinação Magnética:

$$DM = C_{ig} + [ ( A + f_a ) \times C_{ip} ]$$

onde:

DM – declinação magnética

$C_{ig}$  – curva isogônica

A – ano de observação

$F_a$  – fração do ano

$C_{ip}$  – curva isopórica

### Dados:

Ano do Mapa magnético: 1980.0

Ano do Levantamento Planialtimétrico: 1998

Fração do ano: 10 de agosto = 0,6

$C_{ig}$  : -18° 05'

$C_{ip}$ : -7,6'

### Cálculo:

$$DM = C_{ig} + [ ( A + f_a ) \times C_{ip} ]$$

$$DM = -18° 05' + [ ( 18 + 0,6 ) \times (-7,6') ]$$

$$DM = -20° 26'$$

### Bibliografia:

GODOY, Reinaldo. **Topografia Básica**. Piracicaba (SP), FEALQ, 1988.

### ANEXO 3

#### Resultados de Resistência à Compressão 28 dias - T1

Cimento	Origem	Cura	Tratamento	Código	Tensão		
CPII	Serragem	Padrão	Testemunho	T	7,13	7,13	7,74
			SA comercial	SAC	7,59	8,56	7,64
			SA puro	SAP	7,54	7,44	6,42
			Clor de cálcio	CC	10,54	9,98	10,69
		Vapor	Testemunho	T	7,23	7,03	6,01
			SA comercial	SAC	9,32	6,98	7,79
			SA puro	SAP	8,05	8,45	7,79
			Clor de cálcio	CC	10,08	7,64	9,27
	Parafinado	Padrão	Testemunho	T	7,03	7,23	7,33
			SA comercial	SAC	6,42	7,13	7,49
			SA puro	SAP	6,42	6,52	6,32
			Clor de cálcio	CC	10,19	9,93	9,88
		Vapor	Testemunho	T	6,37	6,11	6,62
			SA comercial	SAC	6,42	6,11	6,11
			SA puro	SAP	5,91	5,91	5,7
			Clor de cálcio	CC	9,42	8,56	6,52
Cimento	Origem	Cura	Tratamento	Código	Tensão		
ARI	Serragem	Padrão	Testemunho	T	11,92	12,22	12,53
			SA comercial	SAC	13,65	13,24	11,31
			SA puro	SAP	13,04	12,63	12,53
			Clor de cálcio	CC	17,21	16,3	15,99
		Vapor	Testemunho	T	8,25	7,84	8,15
			SA comercial	SAC	10,59	11,41	11,31
			SA puro	SAP	12,22	13,04	11,61
			Clor de cálcio	CC	14,06	12,73	12,63
	Parafinado	Padrão	Testemunho	T	9,27	9,93	11,71
			SA comercial	SAC	11,46	9,47	10,08
			SA puro	SAP	11,51	12,22	11,31
			Clor de cálcio	CC	11,2	15,18	15,28
		Vapor	Testemunho	T	8,05	8,45	8,05
			SA comercial	SAC	8,76	7,64	7,84
			SA puro	SAP	10,7	8,86	9,17
			Clor de cálcio	CC	8,91	11,31	13,85

## ANEXO 4

### Resultados de Resistência à Compressão 28 dias - T2

Cimento	Origem	Cura	Tratamento	Código	Tensão		
CPII	Serragem	Padrão	Testemunho	T	5,09	5,20	4,84
			SA comercial	SAC	6,62	6,42	7,64
			SA puro	SAP	6,01	6,01	4,69
			Clor de cálcio	CC	8,15	7,74	7,33
		Vapor	Testemunho	T	6,01	5,60	5,40
			SA comercial	SAC	8,25	8,05	8,15
			SA puro	SAP	7,44	7,44	6,42
			Clor de cálcio	CC	8,25	7,64	7,95
	Parafinado	Padrão	Testemunho	T	5,35	4,58	4,69
			SA comercial	SAC	8,56	7,33	8,35
			SA puro	SAP	7,03	6,83	7,23
			Clor de cálcio	CC	7,95	7,39	6,52
		Vapor	Testemunho	T	4,89	4,58	4,58
			SA comercial	SAC	7,64	6,72	8,25
			SA puro	SAP	7,03	6,83	6,93
			Clor de cálcio	CC	6,52	7,33	6,72
Cimento	Origem	Cura	Tratamento	Código	Tensão		
ARI	Serragem	Padrão	Testemunho	T	8,15	7,54	8,81
			SA comercial	SAC	13,14	12,02	13,75
			SA puro	SAP	12,12	11,71	11,92
			Clor de cálcio	CC	12,68	14,06	12,12
		Vapor	Testemunho	T	7,95	7,64	7,64
			SA comercial	SAC	8,56	11,10	9,88
			SA puro	SAP	11,00	9,17	10,49
			Clor de cálcio	CC	13,45	11,51	13,55
	Parafinado	Padrão	Testemunho	T	6,83	7,33	8,05
			SA comercial	SAC	13,45	11,36	12,02
			SA puro	SAP	10,70	8,61	10,44
			Clor de cálcio	CC	13,24	11,61	13,24
		Vapor	Testemunho	T	7,33	8,35	8,15
			SA comercial	SAC	10,59	9,93	7,23
			SA puro	SAP	7,54	7,23	9,27
			Clor de cálcio	CC	11,51	10,44	12,33

## ANEXO 5

### Resultados de Resistência à Compressão 9 horas - Cura à Vapor

Cimento	Origem	Traço	Tratamento	Código	Tensão		
CPII	Serragem	T1	Testemunho	T	1,50	1,35	1,15
			SA comercial	SAC	2,98	2,94	3,18
			SA puro	SAP	2,09	2,11	2,05
			Clor de cálcio	CC	2,58	2,28	2,80
		T2	Testemunho	T	1,82	1,74	1,75
			SA comercial	SAC	2,36	2,09	2,08
			SA puro	SAP	1,95	1,89	1,60
			Clor de cálcio	CC	3,04	3,22	2,64
	Parafinado	T1	Testemunho	T	0,30	0,18	0,24
			SA comercial	SAC	2,36	2,13	2,45
			SA puro	SAP	1,69	1,72	1,62
			Clor de cálcio	CC	2,90	2,85	3,04
		T2	Testemunho	T	0,74	0,62	0,70
			SA comercial	SAC	2,51	2,40	2,60
			SA puro	SAP	2,14	2,29	2,55
			Clor de cálcio	CC	2,98	3,28	3,05
Cimento	Origem	Traço	Tratamento	Código	Tensão		
ARI	Serragem	T1	Testemunho	T	1,70	1,95	1,82
			SA comercial	SAC	4,44	4,85	5,11
			SA puro	SAP	4,49	3,70	4,23
			Clor de cálcio	CC	6,59	6,97	6,84
		T2	Testemunho	T	2,43	2,38	2,64
			SA comercial	SAC	3,50	3,81	4,23
			SA puro	SAP	3,80	3,75	4,09
			Clor de cálcio	CC	7,21	7,23	6,54
	Parafinado	T1	Testemunho	T	0,05	0,09	0,07
			SA comercial	SAC	2,40	2,00	2,18
			SA puro	SAP	3,76	3,89	3,83
			Clor de cálcio	CC	8,09	7,94	7,77
		T2	Testemunho	T	0,04	0,03	0,02
			SA comercial	SAC	3,58	3,61	3,44
			SA puro	SAP	2,25	1,75	2,75
			Clor de cálcio	CC	8,37	7,34	7,87

## ANEXO 6

### Resultados de Absorção – T1

Cimento	Origem	Cura	Tratamento	Código	Absorção %		
CPII	Serragem	Padrão	Testemunho	T	24,10	23,54	22,78
			SA comercial	SAC	24,30	24,33	24,93
			SA puro	SAP	19,65	19,72	20,76
			Clor de cálcio	CC	24,47	24,98	25,16
		Vapor	Testemunho	T	18,91	21,06	20,79
			SA comercial	SAC	23,69	23,44	23,28
			SA puro	SAP	19,24	19,43	19,57
			Clor de cálcio	CC	22,02	21,60	21,96
	Parafinado	Padrão	Testemunho	T	21,30	21,16	20,91
			SA comercial	SAC	22,19	21,67	21,80
			SA puro	SAP	18,03	17,75	18,25
			Clor de cálcio	CC	22,09	22,39	22,12
		Vapor	Testemunho	T	18,70	17,85	17,23
			SA comercial	SAC	20,46	20,91	21,30
			SA puro	SAP	16,74	16,77	17,55
			Clor de cálcio	CC	19,36	18,90	19,30
Cimento	Origem	Cura	Tratamento	Código	Absorção %		
ARI	Serragem	Padrão	Testemunho	T	21,06	21,16	21,17
			SA comercial	SAC	21,72	21,04	21,84
			SA puro	SAP	22,08	22,11	22,60
			Clor de cálcio	CC	22,88	23,23	22,32
		Vapor	Testemunho	T	18,91	19,45	18,53
			SA comercial	SAC	23,02	22,50	22,82
			SA puro	SAP	22,16	21,94	22,54
			Clor de cálcio	CC	21,52	20,89	21,88
	Parafinado	Padrão	Testemunho	T	18,36	18,28	17,59
			SA comercial	SAC	19,29	19,89	19,39
			SA puro	SAP	19,22	18,68	19,10
			Clor de cálcio	CC	19,89	19,57	19,52
		Vapor	Testemunho	T	17,28	17,27	17,04
			SA comercial	SAC	19,47	19,30	19,13
			SA puro	SAP	18,70	18,34	18,96
			Clor de cálcio	CC	19,36	19,02	19,22

## ANEXO 7

### Resultados de Absorção – T2

Cimento	Origem	Cura	Tratamento	Código	Absorção %		
CPII	Serragem	Padrão	Testemunho	T	24,72	24,83	24,74
			SA comercial	SAC	23,30	24,11	23,67
			SA puro	SAP	24,41	24,16	23,96
			Clor de cálcio	CC	22,45	22,89	22,40
		Vapor	Testemunho	T	21,64	23,48	22,33
			SA comercial	SAC	22,24	21,39	21,01
			SA puro	SAP	23,94	23,17	22,87
			Clor de cálcio	CC	19,39	20,28	20,09
	Parafinado	Padrão	Testemunho	T	22,81	22,72	22,93
			SA comercial	SAC	21,00	21,15	20,31
			SA puro	SAP	21,47	21,60	21,29
			Clor de cálcio	CC	20,12	20,12	20,52
		Vapor	Testemunho	T	20,41	20,62	20,13
			SA comercial	SAC	18,96	18,72	19,13
			SA puro	SAP	20,31	20,04	19,70
			Clor de cálcio	CC	18,54	18,53	18,30
Cimento	Origem	Cura	Tratamento	Código	Absorção %		
ARI	Serragem	Padrão	Testemunho	T	22,98	23,23	22,57
			SA comercial	SAC	21,42	21,53	21,70
			SA puro	SAP	19,34	18,68	19,45
			Clor de cálcio	CC	20,70	20,58	22,14
		Vapor	Testemunho	T	21,73	22,35	22,28
			SA comercial	SAC	21,20	21,49	21,78
			SA puro	SAP	22,11	22,59	22,59
			Clor de cálcio	CC	18,91	19,00	18,80
	Parafinado	Padrão	Testemunho	T	20,80	21,01	20,46
			SA comercial	SAC	17,88	17,95	17,76
			SA puro	SAP	21,67	21,48	22,30
			Clor de cálcio	CC	17,41	16,83	17,91
		Vapor	Testemunho	T	18,86	19,10	18,82
			SA comercial	SAC	17,19	17,87	18,56
			SA puro	SAP	19,71	20,56	19,22
			Clor de cálcio	CC	17,63	17,00	17,51