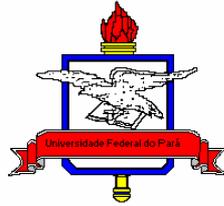


**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
CIVIL**

**ALBERTO ALEXANDRE COSTA E SOUZA**

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA  
INDÚSTRIA MADEIREIRA PARA  
FABRICAÇÃO DE CHAPAS CIMENTO-  
MADEIRA**

Belém  
2006



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
CIVIL**

**ALBERTO ALEXANDRE COSTA E SOUZA**

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA  
INDÚSTRIA MADEIREIRA PARA  
FABRICAÇÃO DE CHAPAS CIMENTO-  
MADEIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração: Construção Civil.

Orientador: Alcebíades Negrão Macedo  
Co-Orientador: Bernardo Borges Pompeu neto

Belém  
2006

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP) –**  
Biblioteca Central/ UFPA, Belém-PA

---

Souza, Alberto Alexandre Costa e.

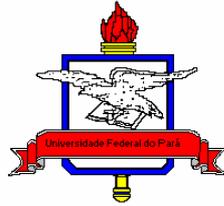
Utilização de resíduos da indústria madeireira para fabricação de chapas cimento-madeira / Alberto Alexandre Costa e Souza; orientador Prof. Dr. Alcebiades Negrão Macedo. – 2006  
165p.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Belém, 2006.

1. Madeira - produtos. 2. Indústria madeireira. 3. Resíduos industriais. I. Título

CDD - 21. ed. 674.8

---



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
CIVIL**

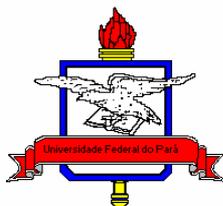
**ALBERTO ALEXANDRE COSTA E SOUZA**

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA  
INDÚSTRIA MADEIREIRA PARA  
FABRICAÇÃO DE CHAPAS CIMENTO-  
MADEIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração: Construção Civil.

Orientador: Alcebíades Negrão Macedo  
Co-Orientador: Bernardo Borges Pompeu neto

Belém  
2006



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
CIVIL**

**ALBERTO ALEXANDRE COSTA E SOUZA**

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA  
INDÚSTRIA MADEIREIRA PARA  
FABRICAÇÃO DE CHAPAS CIMENTO-  
MADEIRA**

Aprovado em .....de .....de

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Alcebiades Negrão Macêdo  
Presidente e orientador/Universidade Federal do Pará

---

Prof. Dr. Bernardo Borges Pompeu Neto  
Co-orientador/Universidade Federal do Pará

---

Prof. Dr. Sueo Numazawa  
Membro/Universidade Federal Rural da Amazônia

---

Prof. Dr. Manoel Diniz Peres  
Membro/ Universidade Federal do Pará

---

Prof<sup>a</sup>. Isaura Nazaré Lobato Paes  
Membro/Universidade Federal do Pará

Belém  
2006

Dedico este trabalho em especial a memória de  
meu pai Milton de Abreu e Souza, a toda  
minha família, por terem apoiado e incentivado  
os meus estudos.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por sua luz e a minha família pelo incentivo, apoio e compreensão, sem os quais não seriam possíveis a realização deste trabalho;

À Universidade Federal do Pará, pela oportunidade de melhoria de minha formação profissional;

Ao curso de Mestrado em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, pela experiência profissional proporcionada;

Aos professores Alcebiádes Negrão Macedo e Bernardo Borges Pompeu Neto, pela orientação durante a elaboração deste trabalho;

Aos professores do curso de mestrado em Engenharia Civil da UFPA. Pelos ensinamentos recebidos;

À professora Carmem Gilda do laboratório de Engenharia Mecânica, que gentilmente cedeu a prensa EMIC DL 500, para os ensaios de flexão e tração perpendicular.

Aos professores Rômulo e Lamarão do centro de Geofísica pela colaboração para realização dos ensaios de difração de raios-X e microscopia eletrônica.

Aos colegas, professores e técnicos do laboratório de Construção Civil da UFPA. Pelo apoio para realização dos ensaios;

A todos que, mesmo não sendo citados, ofereceram-me apoio para realização deste trabalho, deixo meu agradecimento e, desculpas pelos eventuais transtornos decorrentes da utilização das instalações e equipamentos.

## RESUMO

Souza, Alberto Alexandre Costa e. Utilização de Resíduos da Indústria Madeireira para Fabricação de Chapas de cimento-madeira. Belém, Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, 2006. 143p. Dissertação de Mestrado.

A industrialização da madeira gera grande quantidade de resíduos, que são lançados no meio ambiente, e não são aproveitados em sua totalidade, ou quando no máximo são utilizados para geração de energia causando também poluição ambiental. Esta pesquisa teve como objetivo avaliar por meio de ensaios físicos, mecânicos e análise da interface fibra-matriz, por microscopia eletrônica de varredura, a utilização dos resíduos da indústria madeireira para moldagem de chapas de cimento-madeira. Foram avaliadas a compatibilidade de seis espécies de dicotiledôneas nativas da Amazônia, e a mistura delas em partes iguais, com ensaios de compressão axial em corpos-de-prova cilíndricos, para escolha daquelas de melhor desempenho para aplicação em chapas. Os resíduos foram utilizados ao natural e submetidos ao tratamento de lavagem em água quente por duas horas, para verificação da influência deste tratamento. O cimento utilizado foi o CP V ARI, com a relação cimento/madeira 3: 1, em massa juntamente com os aditivos aceleradores de pega sulfato de alumínio a 3% e cloreto de cálcio a 3% e 5%. Os resultados do ensaio de compressão axial indicaram três espécies com potencial para uso em chapas, com o tratamento lavagem combinado com o acelerador de pega cloreto de cálcio a 5%. A espécie *Cedrela odorata L.* (Cedro), apresentou o melhor desempenho nos ensaios físicos e mecânicos, superando especificações de fabricantes de chapas, sendo, potencialmente o resíduo mais indicado para utilização em chapas de cimento-madeira.

Palavras-Chave: Resíduos, Compósitos, Chapas.

## ABSTRACT

Souza, Alberto Alexandre Costa e. Utilization of the lumber industry for cement-wood particleboard Production. Belém, Post-graduation Course in Civil Engineering, University Federal do Pará, 2006. 143p. Mestrado's dissertation.

The wood industrialization generates residues big quantity, that are thrown in the environment, and they aren't profited in your totality, or when at most are used to energy generation causing also environmental pollution. This research had as objective to evaluate by means of physical, interface fiber-head office mechanical rehearsals and analysis, for sweeping electronic microscopy, the lumber industry residues utilization for cement-wood particleboard molding. They were going evaluated the compatibility of six dicotyledonous species native of Amazonian, and their mixture in equal parts, with compression axial rehearsals in cylindrical bodies-of-proof, for choice of that better performance for application in cement-wood particleboard. The residues were going used to the natural and submitted to the treatment wash in hot water for two hours, for influence verification of this treatment. The used cement was CP V ARI, with the relation cement/wood 3: 1 on mass, together with the additive accelerators of catches aluminum sulfate to 3% and calcium chloride to 3% and 5%. The results of compression axial rehearsal indicated three species with potential for use in plates, with the treatment wash agreement with the accelerator of catches calcium chloride to 5%. The species *Cedrela odorata* L. (Cedar), exhibited the best performance in the physical and mechanical rehearsals, overcoming plates manufacturers specifications, being, potentially the residue more indicated for utilization in cement-wood particleboard.

Keywords: Residues, Composites, Plates.

## SUMÁRIO

<b>LISTAS DE FIGURAS .....</b>	<b>xi</b>
<b>LISTAS DE TABELAS .....</b>	<b>xv</b>
<b>LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....</b>	<b>xvi</b>
<b>LISTAS DE SÍMBOLOS .....</b>	<b>xiii</b>
<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO E OBJETIVOS .....</b>	<b>1</b>
1.1 Introdução .....	1
1.2 Justificativa .....	2
1.3 Objetivos .....	3
1.4 Limitações da pesquisa .....	4
<b>CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Cimento .....	5
2.2 A Madeira .....	6
2.3 Compatibilidade química entre a madeira e o cimento .....	8
2.4 O resíduo de madeira .....	10
2.5 Água .....	11
2.6 Aditivos químicos .....	13
2.7 Estudos sobre fibras vegetais .....	15
2.8 Compósito cimento-madeira .....	17
2.9 Fabricação e aplicação do compósito cimento-madeira .....	19
2.10 Avaliação da compatibilidade química entre a madeira e o cimento .....	21
2.11 Redução da incompatibilidade química entre a madeira e o cimento .....	26
2.12 Propriedades mecânicas e físicas do compósito cimento-madeira .....	28

<b>CAPÍTULO 3 – MATERIAIS e MÉTODOS .....</b>	<b>33</b>
3.1 Planejamento experimental .....	33
3.2 Materiais .....	34
3.2.1 Cimento .....	34
3.2.2 Resíduos de madeira .....	35
3.2.3 Água .....	36
3.2.4 Aditivos químicos .....	36
3.3 Métodos .....	36
3.3.1 Caracterização dos materiais .....	37
3.3.1.1 Cimento .....	37
3.3.1.2 Resíduos de madeira .....	38
3.3.2 Verificação da compatibilidade dos resíduos para escolha das espécies .....	43
3.3.3 Moldagem das chapas de cimento-madeira .....	47
3.3.3.1 Ensaios realizados nas chapas de cimento-madeira .....	50
3.3.4 Análise por difração de raios-X e análise microestrutural .....	56
<b>CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>58</b>
4.1 Verificação da compatibilidade dos resíduos para escolha das espécies .....	58
4.1.1 Efeito do tratamento lavagem dos resíduos .....	59
4.1.2 Efeito da granulometria .....	60
4.1.3 Efeito dos aditivos aceleradores .....	61
4.2 Características físicas e mecânicas das chapas de cimento-madeira .....	61
4.2.1 Densidade .....	61
4.2.2 Teor de umidade .....	63
4.2.3 Inchamento em espessura .....	64
4.2.4 Absorção de água .....	64

4.2.5 Módulo de ruptura e módulo de elasticidade .....	66
4.2.6 Tração perpendicular à superfície da chapa ou ligação interna .....	68
4.2.7 Compressão paralela à superfície da chapa .....	69
4.3 Análise por difração de raios-X e análise microestrutural .....	71
4.3.1 Análise por difração de raios-X .....	71
4.3.2 Análise microestrutural .....	73
4.4 Indicativo do custo da chapa de cimento-madeira em relação à chapa de aglomerado.	95
4.5 Comparação das propriedades mecânicas e físicas das chapas reconstituídas .....	95
<b>CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES .....</b>	<b>98</b>
5.1 Verificação da compatibilidade dos resíduos para escolha das espécies .....	98
5.2 Chapas de cimento-madeira com resíduos .....	99
5.3 Sugestões para trabalhos futuros .....	100
<b>CAPÍTULO 6 – REFERÊNCIAS .....</b>	<b>101</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>107</b>
APÊNDICE A - Análise granulométrica .....	107
APÊNDICE B - Verificação da compatibilidade dos resíduos .....	113
APÊNDICE C - A NOVA do estudo de compressão axial .....	121
APÊNDICE D - Avaliação das propriedades físicas e análise estatística das chapas de cimento-madeira .....	132
APÊNDICE E - Avaliação das propriedades mecânicas e análise estatística das chapas de cimento-madeira .....	138
APÊNDICE F - A NOVA do estudo da espécie para as chapas .....	142
APÊNDICE G – Composição de custo da chapa de cimento-madeira .....	146
APÊNDICE H – Espectrometria de raios-X .....	147

## LISTA DE FIGURAS

1.1 Serraria as margens de um rio .....	2
1.2 Resíduos no meio ambiente .....	2
2.1 Esquema da estrutura da fibra de celulose e de uma macrofibra .....	16
2.2 Chapas de cimento madeira com acabamento .....	19
2.3 Forro de quadra esportiva .....	20
2.4 Fechamento de prédio .....	20
2.5 Residência .....	20
2.6 Residência de baixo custo .....	20
2.7 Representação da curva típica de hidratação do cimento .....	23
2.8 Representação da área sob a curva de hidratação para a mistura cimento-água e cimento-madeira-água .....	25
3.1 fluxograma do planejamento experimental .....	33
3.2 Resíduos de madeira .....	35
3.3 Fluxograma da parte experimental .....	36
3.4 Agitador de peneiras .....	40
3.5 Curva granulométrica de todas as espécies ao natural .....	40
3.6 Curva granulométrica de todas as espécies lavadas .....	41
3.7 Misturador mecânico .....	45
3.8 Prensa EMIC 2000 KN .....	46
3.9 Molde metálico para manufatura das chapas cimento-madeira .....	48
3.10 Formação do colchão cimento-madeira .....	48
3.11 Aplicação de pressão para fixação dos parafusos no molde .....	49
3.12 Distribuição para extração dos corpos-de-prova nas chapas de cimento-madeira .....	49

3.13 Corte dos corpos-de-prova em serra circular .....	50
3.14 Dimensões do corpo-de-prova para ensaio de densidade .....	51
3.15 Dimensões do corpo-de-prova para ensaio de inchamento em espessura e absorção de água .....	52
3.16 Esquema para o ensaio de flexão .....	53
3.17 Dispositivo para o ensaio de flexão .....	54
3.18 Dispositivo para o ensaio de tração perpendicular .....	55
4.1 Resultados dos ensaios de Compressão Axial para escolha das espécies .....	58
4.2 Resultados obtidos nos ensaios de Densidade .....	62
4.3 Resultados obtidos nos ensaios de Teor de Umidade .....	63
4.4 Resultados obtidos nos ensaios de Inchamento em espessura .....	64
4.5 Resultados obtidos nos ensaios de Absorção de Água em 24 horas .....	65
4.6 Resultados obtidos nos ensaios de flexão estática para o Módulo de Elasticidade .....	66
4.7 Resultados obtidos nos ensaios de flexão estática para o Módulo de Ruptura .....	66
4.8 Fissura típica em compósito cimento-madeira à flexão .....	67
4.9 Resultados obtidos nos ensaios de Tração Perpendicular .....	68
4.10 Ensaio de tração perpendicular (A) e corpo-de-prova rompido(B) .....	69
4.11 Resultados obtidos nos ensaios de Compressão Paralela .....	69
4.12 Tipos de fissuras em corpos-de-prova no ensaio de compressão paralela .....	70
4.13 Difratoograma da amostra Cedro .....	72
4.14 Difratoograma das quatro amostras analisadas .....	72
4.15 Chapa de cimento-madeira com resíduo de Cedro .....	73
4.16 Chapa de cimento-madeira com resíduo de Cedro .....	74
4.17 Chapa de cimento-madeira com resíduo de Cedro .....	74
4.18 Chapa de cimento-madeira com resíduo de Cedro .....	75

4.19 Chapa de cimento-madeira com resíduo de Cedro .....	75
4.20 Chapa de cimento-madeira com resíduo de Jatobá .....	76
4.21 Chapa de cimento-madeira com resíduo de Jatobá .....	76
4.22 Chapa de cimento-madeira com resíduo de Jatobá .....	77
4.23 Chapa de cimento-madeira com resíduo de Jatobá .....	77
4.24 Chapa de cimento-madeira com resíduo de Mistura .....	78
4.25 Chapa de cimento-madeira com resíduo de Mistura .....	78
4.26 Chapa de cimento-madeira com resíduo de Mistura .....	79
4.27 Chapa de cimento-madeira com resíduo de Mistura .....	79
4.28 Chapa de cimento-madeira com resíduo de Mistura .....	80
4.29 Chapa de cimento-madeira com resíduo de Quaruba .....	80
4.30 Chapa de cimento-madeira com resíduo de Quaruba .....	81
4.31 Chapa de cimento-madeira com resíduo de Quaruba .....	81
4.32 Chapa de cimento-madeira com resíduo de Quaruba .....	82
4.33 Imagem de elétrons retroespalhados de uma chapa de Cedro .....	83
4.34 EDS da matriz junto a fibra, referente ao ponto 1 .....	83
4.35 EDS da matriz junto a fibra, referente ao ponto 2 .....	84
4.36 EDS da matriz junto a fibra, referente ao ponto 3 .....	84
4.37 Imagem de elétrons retroespalhados de uma chapa de Cedro .....	85
4.38 EDS da matriz junto a um feixe de fibras, referente ao ponto 1 .....	85
4.39 Imagem de elétrons retroespalhados de uma chapa de Jatobá .....	86
4.40 EDS da matriz junto a fibra, referente ao ponto 1 .....	86
4.41 EDS da matriz afastado a fibra, referente ao ponto 2 .....	87
4.42 EDS da matriz junto a fibra, referente ao ponto 3 .....	87
4.43 EDS da matriz afastado a fibra, referente ao ponto 4 .....	88

4.44 Imagem de elétrons retroespalhados de uma chapa de Mistura .....	88
4.45 EDS da matriz junto a fibra, referente ao ponto 1 .....	89
4.46 EDS da matriz afastado a fibra, referente ao ponto 2 .....	89
4.47 EDS da matriz junto a fibra, referente ao ponto 3 .....	90
4.48 Imagem de elétrons retroespalhados de uma chapa de Quaruba .....	90
4.49 EDS da matriz junto a fibra, referente ao ponto 1 .....	91
4.50 EDS da matriz junto a fibra, referente ao ponto 2 .....	91
4.51 EDS da matriz junto a fibra, referente ao ponto 3 .....	92
4.52 Imagem de elétrons retroespalhados de uma chapa de Quaruba .....	92
4.53 EDS da matriz junto a fibra, referente ao ponto 1 .....	93
4.54 EDS da matriz junto a fibra, referente ao ponto 2 .....	93
4.55 EDS da matriz sobre a fibra, referente ao ponto 3 .....	94

## LISTA DE TABELAS

2.1 Composição quantitativa da madeira .....	7
3.1 Relação das espécies coletadas .....	35
3.2 Cimento portland de alta resistência inicial CP V-ARI .....	37
3.3 Extrativos totais solúveis em água .....	39
3.4 Massa unitária do resíduo de madeira no estado solto .....	41
3.5 Massa específica do resíduo de madeira .....	42
3.6 Teor de umidade do resíduo de madeira .....	43
3.7 Quantidade de corpos de prova para ensaio de resistência à compressão .....	45
3.8 Quantidade de material para confecção de uma chapa .....	47
4.1 Fases da pasta de cimento-madeira hidratada .....	71
4.2 Indicativo de custo por m <sup>2</sup> de chapas de madeira aglomerada e cimento-madeira.....	95
4.3 Propriedades mecânicas e físicas de chapas de madeira reconstituídas .....	96

## LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

**Abreviaturas**

- $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  - Sulfato de alumínio;
- $\text{AlCl}_3$  - Cloreto de alumínio;
- $\text{CaCl}_2$  - Cloreto de cálcio;
- CP-II-E - Cimento portland composto, tipo II com adição de escória;
- CP-II-F - Cimento portland composto, tipo II com adição de filler;
- CP-III - Cimento de alto forno tipo III;
- CP-V-ARI - Cimento portland de alta resistência inicial;
- $\text{C}_2\text{S}$  - Silicato dicálcico ou belita;
- $\text{C}_3\text{S}$  - Silicato tricálcico ou alita;
- $\text{C}_3\text{A}$  - Aluminato tricálcico;
- CH - Hidróxido de cálcio ou portlandita [ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ];
- C-S-H - Silicato de cálcio hidratado;
- CP's - Corpos-de-prova;
- $\text{FeCl}_3$  - Cloreto de ferro;
- MOE - Módulo de elasticidade à flexão;
- MOR - Módulo de ruptura à flexão;
- MPa - Mega pascal;
- NaOH - Hidróxido de sódio;
- $\text{SnCl}_2$  - Cloreto de estanho.

**Siglas**

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas;
- ASTM - American Society for Testing and Material;
- AMSLER - Prensa universal para ensaios;
- BISON - Processo de fabricação de chapas de cimento-madeira;
- CEPED - Centro de pesquisa e desenvolvimento;
- CETRIS - Fabricante de chapas de cimento-madeira;
- EMIC - Prensa computadorizada para ensaios;
- EN - Normas Européias;
- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente;
- LABMEV – Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura da UFPA;
- LEC - Laboratório de Engenharia Civil da UFPA;
- NBR - Norma Brasileira;
- UFRA - Universidade Federal Rural da Amazônia;
- WPIF - Wood Panel Industries Federation.

## LISTA DE SÍMBOLOS

AI	- Adesão interna;
a	- Comprimento do corpo-de-prova;
a'	- Medição do maior diâmetro esparramado na horizontal;
a <sub>1</sub>	- Deflexão na metade do vão;
a <sub>2</sub>	- Deflexão na metade do vão;
Am	- Índice de absorção;
b	- Largura do corpo-de-prova;
b'	- Medição do maior diâmetro esparramado na vertical;
b <sub>1</sub>	- Medida ortogonal do corpo de prova na vertical;
b <sub>2</sub>	- Medida ortogonal do corpo de prova na horizontal;
C	- Massa de cimento (kg);
CA	- Fator de compatibilidade;
F <sub>1</sub>	- Incremento de carga;
F <sub>2</sub>	- Incremento de carga;
F <sub>max</sub>	- Carga de ruptura;
G <sub>t</sub>	- Teor de inchamento da chapa de cimento-madeira;
I	- Índice inibitório;
L	- Corpo-de-prova;
L <sub>1</sub>	- Distância entre suportes para ensaio de flexão;
L <sub>2</sub>	- Comprimento do corpo-de-prova;
m	- Massa do corpo-de-prova;
mi	- Massa inicial do corpo-de-prova;
mf	- Massa final do corpo-de-prova;

M	- Massa de madeira (kg);
MC	- Massa de cimento (kg);
Mh	- Massa de água;
Mm	- Massa de madeira anidra passante na peneira 0,075 ABNT;
MS	- Massa de madeira seca (kg);
S <sub>2</sub>	- Variação máxima de temperatura por hora para mistura cimento-água;
S' <sub>2</sub>	- Variação máxima de temperatura por hora para mistura cimento-madeira-água;
t	- Espessura do corpo-de-prova;
t <sub>i</sub>	- Espessura inicial do corpo-de-prova;
t <sub>f</sub>	- Espessura final do corpo-de-prova;
t <sub>2</sub>	- Tempo requerido para que a temperatura máxima da mistura cimento-água seja atingida;
t' <sub>2</sub>	- Tempo requerido para que a temperatura máxima da mistura cimento-madeira-água seja atingida;
T	- Trabalhabilidade;
T <sub>2</sub>	- Temperatura máxima atingida pela mistura cimento-água;
T' <sub>2</sub>	- Temperatura máxima atingida pela mistura cimento-madeira-água;
TU	- teor de umidade da madeira;
U	- Teor de umidade da chapa de cimento-madeira;
ρ	- massa específica da chapa cimento madeira.

# Capítulo 1

## Introdução e Objetivos

### 1.1 Introdução

A recente restrição ao uso da fibra de amianto, tem levado a indústria, à busca de alternativas para substituição por outros materiais, levando em conta as questões ambientais.

As fibras vegetais foram usadas durante milênios pela humanidade até os dias atuais. Seu uso vem despertando maior interesse, em alguns países, como uma alternativa de material que poderia viabilizar construções de baixo custo.

As chapas de cimento-madeira são utilizadas no setor da construção civil na Áustria desde 1920 e na Alemanha desde 1940, e tiveram sua expansão após a II Guerra Mundial, para Austrália, Estados Unidos e países da Ásia (ANU HOMEPAGE, 2003).

A produção em larga escala, surgiu em 1976 na Alemanha, e se expandiu para os Estados Unidos (*wood fiber cement*) e México (*cement-bonded particleboard*). Sua aceitação deve-se ao uso de aglomerante inorgânico, o que lhe confere propriedades superiores às chapas que utilizam resinas sintéticas, garantindo resistência ao fogo, ataque de fungos e cupins, além de isolamento térmico e acústico (LATORRACA, 2003).

O consumo de toras de madeiras no Estado do Pará pela indústria, aumentou de forma acentuada nos últimos anos, e chegou a 11.150.000m<sup>3</sup> no ano de 2004 segundo Lentini et al. (2005), gerando uma grande quantidade de resíduos.

O aproveitamento de resíduos de madeira como agregado para fabricação de chapas de cimento-madeira, poderá ser uma alternativa de material de construção, aliado a incontestável necessidade de reciclagem, evitando incineração e deposições ilegais destes resíduos no meio ambiente que chegam, segundo estudos preliminares do Laboratório de Produtos Florestais do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente, IBAMA – DF (*apud* BARROS et al. 2002), até 45% de uma tora de madeira extraída.

A utilização de resíduos industriais de madeira na fabricação de novos produtos é uma resposta ao meio ambiente, agregando valor ao resíduo, e diminuindo a pressão sobre o desmatamento.

A presença de substâncias químicas presentes na madeira, chamadas de extrativos, podem retardar ou até impedir a pega da pasta de cimento, o que poderá inviabilizar o uso dos resíduos de algumas espécies.

No entanto, as pesquisas de Latorraca (2000); Ramírez & Freire (1996) e Savastano Junior et al. (2000) têm mostrado a eficiência da aplicação de substâncias químicas, chamadas de aceleradores de pega, que chegam a impedir ou minimizar o efeito deletério destes extrativos, o banho térmico, a mineralização das partículas e substituição da matriz cimentante por cimentos de baixa alcalinidade.

A pesquisa em espécies coníferas tem sido alvo de maior atenção, o mesmo não ocorrendo com as dicotiledôneas, fato devido talvez à produção comercial destas chapas utilizarem coníferas de reflorestamento e pelo efeito mais pronunciado das dicotiledôneas sobre a pega do cimento.

## 1.2 Justificativa

Vive-se um momento, em que a sociedade se preocupa com a preservação do meio ambiente, com a exploração racional dos recursos naturais, com a reciclagem de materiais. O Brasil vêm ampliando significativamente o número de construções, consumindo grandes quantidades de materiais.

No Estado do Pará a industrialização da madeira, gera grande quantidade de resíduos, sendo esta atividade poluidora, pois estes são queimados de forma desordenada lançando na atmosfera gases poluentes, ou simplesmente são depositados no meio ambiente, poluindo o solo, comprometendo à saúde o bem estar das populações vizinhas, (Figuras 1.1 e 1.2) ou quando no máximo são aproveitados para geração de energia.



Figura 1.1 – Serraria as margens de um rio no Município de Limoeiro do Ajuru (PA).



Figura 1.2 – Resíduos no meio ambiente em uma Indústria no município de Ananindeua (PA).

A utilização de resíduos industriais, na composição de materiais de construção, tem vital importância na preservação ambiental e na viabilização para fabricação de materiais de baixo custo.

Neste sentido incluem-se as chapas aglomeradas estas normalmente produzidas com resinas sintéticas e os métodos de produção, exigem gastos significativos com aquecimento, prensagem e secagem. Da mesma forma a produção dos adesivos orgânicos sintéticos, a maioria derivados de petróleo, geralmente possuem custo elevado. Já a matéria prima básica para produção das chapas cimento-madeira, objeto deste estudo, são partículas de madeira e cimento que, não necessitam da prensagem a quente, como ocorre com as chapas aglomeradas (produzidas com adesivos sintéticos).

Desta forma, vê-se a importância de se pesquisar sobre a possibilidade do aproveitamento de resíduos industriais de madeira de dicotiledôneas, que são gerados em grande quantidade pelas indústrias do Estado do Pará, com vistas à utilização na fabricação de chapas cimento-madeira. Esta tipo de pesquisa, em particular, pode trazer benefícios ambientais e econômicos, e apresentar uma alternativa de material de construção, para habitações de baixo custo, entre outras aplicações.

### **1.3 Objetivos**

O objetivo geral do presente trabalho é a avaliação por ensaios mecânicos (flexão estática, tração perpendicular e compressão paralela à superfície da chapa); ensaios físicos (variação dimensional, absorção de água, densidade e teor de umidade); análise da interface fibra-matriz - por microscopia eletrônica de varredura - (MEV), com imagens de elétrons secundários e retroespalhados e difração de raios X para identificação de fases minerais, das chapas de cimento-madeira fabricadas com resíduos de madeira.

Os objetivos específicos são:

- Caracterização dos resíduos de madeira;
- Verificar o efeito das variáveis: tratamento das partículas e aditivos, sobre a resistência à compressão em corpos de prova cilíndricos, para escolha da melhor seleção de resíduos;
- Comparação de custo da chapa cimento-madeira em relação à chapa de madeira aglomerada;

- Comparação das propriedades mecânicas e físicas com as chapas industrializadas de cimento-madeira e as chapas aglomeradas.

#### **1.4 Limitações da pesquisa**

Dada a vasta quantidade de variáveis envolvidas no processo de fabricação de chapas de cimento-madeira, e as restrições de recursos financeiros, esta pesquisa limitou o presente estudo, na avaliação de seis espécies de resíduos e a mistura em partes iguais dos mesmos, e ainda a lavagem das partículas em água quente e ao uso de dois aditivos aceleradores de pega e um tipo de cimento.

Trata-se de um trabalho pioneiro, pois utiliza espécies dicotiledôneas nativas da região Amazônica. Deve-se destacar que o trabalho foca a avaliação de propriedades do compósito, visando a sua melhoria e não o desenvolvimento do componente construtivo final (chapas para paredes divisórias ou chapas para forro, por exemplo). Para tanto, serão necessários trabalhos posteriores como a investigação de matrizes de baixa alcalinidade, além da durabilidade de materiais reforçados com celulose.

É necessário registrar que as espécies de madeiras utilizadas, para fabricação de chapas de cimento-madeira, são as coníferas de reflorestamento, e que a literatura disponível sobre o uso de dicotiledôneas é bastante reduzida. Foram consideradas algumas informações referentes ao processo de fabricação de aglomerados e de chapas duras.

Para verificação da compatibilidade dos resíduos das seis espécies de madeira foram realizados 140 ensaios de compressão axial na relação 3:1 cimento-madeira em massa. A presente pesquisa limita-se além do estudo da compressão axial, à avaliação das propriedades físicas (densidade, teor de umidade, absorção de água e variação dimensional), mecânicas (módulo de elasticidade e ruptura à flexão, tração perpendicular e compressão paralela) e análise da interface nas chapas de cimento-madeira de três espécies, mais a mistura delas, selecionadas na etapa anterior, executadas em 20 chapas no traço 3:1 em massa realizados em 112 ensaios mecânicos e 128 ensaios físicos, totalizando 380 amostras do compósito.

## Capítulo 2

### Revisão Bibliográfica

#### 2.1. Cimento

Segundo Metha & Monteiro (1994), a composição do cimento controla a velocidade de desprendimento do calor de hidratação e a resistência da pasta de cimento.

De acordo com Neville (1997), o processo de endurecimento do cimento anidro, chamado de hidratação, ocorre com a reação química de seus compostos, em presença da água gerando produtos hidratados menos solúveis. A hidratação dos compostos do cimento é uma reação exotérmica, e o calor total liberado pode ser usado como índice de sua reatividade e também para caracterizar o comportamento de pega e endurecimento da pasta de cimento.

Algumas substâncias podem interferir no processo de pega, umas como aceleradoras, dentre elas o cloreto de cálcio, o cloreto de sódio, alcalinos (potassa, soda) e outras como retardadoras como o gesso, carbonato de sódio, óxido de zinco, açúcar, tanino, bórax e ácido fosfórico.

Para produção de compósito cimento-madeira, é desejável a rápida solidificação da pasta de cimento. Por esse motivo, cimentos que liberam maiores quantidades de calor, bem como aqueles que proporcionam alta resistência nos primeiros dias, seriam os recomendáveis.

Zucco (1999), ao comparar os resultados da variável tempo, temperatura de hidratação e resistência à compressão axial, em compósito cimento-madeira utilizando os cimentos CP-V-ARI e CP-II-E, verificou para o ARI, os melhores resultados em todas as variáveis.

Latorraca (2000), realizou estudos com os cimentos CP-II-F-32, CP-II-E-32, CP-III e CP-V-ARI, em compósito cimento-madeira, para determinação do mais indicado, ou seja, aquele que apresenta a maior resistência à compressão axial e a maior elevação de temperatura de hidratação em menor tempo. O cimento ARI apresentou o melhor desempenho na variável temperatura de hidratação em torno de 100°C, seguido de CP-II, 79°C e com o menor desempenho o CP-III, 51°C. O alto desempenho do cimento ARI é explicado pelo alto teor de  $C_3S$  e  $C_3A$  que liberam maior quantidade de calor.

Para variável tempo de hidratação foi encontrada igualdade estatística entre o ARI e o CP-II-F. Para o CP-II-E, e o CP-III, esse tempo foi maior.

As pesquisas de Zucco(1999) e Latorraca (2000), fizeram comparações de cimentos com características diferentes. Os cimentos CP-II-32 e CP-III contêm em sua composição escória, que tem reação de hidratação mais lenta, menor calor de hidratação, quando comparados ao CP-V, que apresenta maior reatividade pela moagem mais fina, dosagem diferenciada de calcário e argila, de modo que, quando reage com a água, apresenta elevadas resistências com maior velocidade.

O bom desempenho do cimento de alta resistência inicial foi verificado também, em (MOSLEMI & PFISTER, 1987; BERALDO et al., 1996; CAMPOS, 1999; LEE & HSE, 1999; PIMENTEL, 2000; BERALDO et al. 2002).

## **2.2 A Madeira**

A madeira é um material natural orgânico renovável de grande resistência, extraída do tronco das árvores, largamente utilizada pela humanidade durante milênios, usada sob várias formas como material de construção civil, naval e também como matéria-prima para fabricação de papel e papelão.

Segundo Lepage (1986) e Bordini et al. (2004), do ponto de vista químico, é um biopolímero tridimensional composto de três constituintes principais: celulose, hemicelulose e lignina, responsáveis pela formação da parede celular de seus elementos anatômicos e pela maioria de suas propriedades.

A madeira contém em menores porções, e em quantidades variáveis, outras substâncias, usualmente citadas como constituintes acidentais, englobando as cinzas minerais e compostos de baixo peso molecular, chamados de extrativos, encontrados notadamente na casca, reunindo os terpenos, óleos, ácidos graxos, compostos aromáticos, corantes além de outros.

As características e quantidades destes componentes e as diferenças em estrutura celular resultam em significantes variações nas propriedades da madeira. Algumas são mais pesadas, outras mais leves, algumas mais fáceis de trabalhar que outras.

A quantidade de cada componente, especialmente a lignina e hemicelulose, conforme mostrado na Tabela 2.1, varia entre as espécies dicotiledôneas e coníferas. Outros fatores, tais como, espécie e idade também podem influenciar a composição química.

À celulose, constituída de três elementos: carbono, hidrogênio, e oxigênio é o componente principal das paredes das células das árvores e também de outras plantas, da maioria das algas e alguns cogumelos. É o elemento mais importante das propriedades da

madeira, segundo Silva (2002). Diz ser altamente resistente à tração axial, devido às ligações covalentes. A estrutura da celulose é formada por longas cadeias de átomos com o monômero  $C_6H_{10}O_5$  repetido  $n$  vezes, onde  $n$  é um número muito grande, entre 8.000 e 10.000.

TABELA 2.1 – Composição quantitativa da madeira (Lepage 1986)

Componente/Espécie	Coníferas (%)	Dicotiledôneas (%)
Celulose	20 - 45	40 - 55
Hemicelulose	20 - 30	20 - 40
Lignina	25 - 35	15 - 25
Extrativos	02 - 10	01 - 05
Cinzas minerais	0,1 - 1,0	0,1 - 1,0

As longas fibras tubulares que formam a madeira são constituídas por dois carboidratos poliméricos chamados celulose e hemicelulose. Ambas as substâncias são glicoses complexas. A glicose é um açúcar, o que explica em parte o fato da madeira retardar a pega do cimento.

As hemiceluloses que estão associadas aos feixes de celulose são substâncias poliméricas quimicamente semelhantes à celulose. A cadeia de átomos é menor, cerca de 150 unidades, e apresenta-se em gelatina e não em fibras, são também importantes para algumas propriedades da madeira.

De acordo com Browning<sup>1</sup> (1963 *apud*. Bordini et al., 2004), as hemiceluloses diferenciam-se da celulose por apresentarem baixo grau de polimerização e como conseqüência pequeno peso molecular, são solúveis em soluções alcalinas diluídas, hidrolisam-se pela ação de ácidos diluídos à quente produzindo  $\beta$ -D manose,  $\alpha$ -D galactose,  $\alpha$ -D-arabinose,  $\beta$ -D-xilose, L-ramnose, ácido  $\beta$ -D-glicourônico, ácido  $\beta$ -D-galactourônico,  $\alpha$ -D-4-O-metil glicourônico, além da  $\beta$ -D-glicose.

A lignina é um polímero amorfo e heterogêneo, que envolve os polissacarídeos celulose e hemiceluloses, e pode ser pensado como o adesivo que une os mesmos para formação da madeira. Ela é importante porque confere a esta resistência à compressão. Sua

<sup>1</sup>Browning, B. L. The Chemistry of Wood. Intercience Publication: New York, London, 1963. 619p.

estrutura química difere conforme seja originária de madeira conífera ou dicotiledônea.

Segundo Latorraca (2000), os extrativos são uma mistura complexa de substâncias, responsáveis por determinadas características, como a cor, o cheiro, o desenho, o gosto, resistência natural da madeira ao ataque de organismos destruidores, etc.

Embora em menor percentual em relação aos demais componentes, o teor de extrativos tem efeitos negativos na interação cimento-madeira e é um importante indicador para sua utilização com fins industriais.

De acordo com Wolfe & Gjinolli (1999), muitos pesquisadores, têm demonstrado ser possível o controle e minimização ou eliminação dos efeitos retardadores sobre a hidratação da pasta de cimento, por meio de controle de espécies e condições de partículas.

Segundo Silva (2002), o teor de extrativos apresenta valores crescentes com a idade e decrescente no sentido da base para o topo, ao longo do tronco da espécie *Eucalyptus grandis*.

Fato confirmado pela literatura técnica para outras espécies, onde a madeira juvenil detém valores mais reduzidos de extrativos que as madeiras maduras e que o cerne contém elevado percentual de extrativos, devido às células mortas, bem como, a síntese de substâncias fenólicas.

Para Bordini et al. (2004), a quantidade de extrativos e a composição relativa dos mesmos, dependem de diversos fatores como a espécie, idade da planta e região de ocorrência, variando este teor entre dicotiledôneas na faixa de 2% a 4% e nas coníferas de 5% a 8%, na madeira seca.

### **2.3 Compatibilidade química entre a madeira e o cimento**

De acordo com Latorraca (2000), a compatibilidade química entre o cimento e a madeira depende da quantidade de uma mistura complexa de substâncias denominadas de extrativos que incluem resinas, gorduras ácidas, terpenos e terpenóides, fenóis, taninos, açúcares simples e sais presentes na madeira, e também, o ambiente alcalino do cimento hidratado que contribui para a degradação da fibra.

Compósitos reforçados com fibras contendo grande quantidade de lignina são mais sensíveis ao desgaste natural, que aqueles com quantidades desprezíveis. Isto porque a lignina e hemicelulose que existem nas fibras da madeira são mais suscetíveis ao ataque do álcali do cimento e degradação química do meio alcalino que a celulose (VICAR et al. 1999).

Simatupang et al<sup>2</sup>. (1978 *apud*. LATORRACA, 2000), concluíram que os extrativos da madeira são os principais responsáveis pela inibição da pega da pasta de cimento e a causa exata dessa inibição por essas substâncias é de difícil averiguação.

Para Beraldo & Carvalho (2004), o efeito inibitório pode ser verificado quando se varia a concentração dessas substâncias em relação à massa de cimento. A concentração de 1% de glicose inibiu completamente a pega de um tipo de cimento. Glicose, sacarose e frutose foram responsáveis pelo baixo desempenho de compósitos à base de partículas de bambu. Na interação entre o cimento e a madeira, parte da hemicelulose que é um açúcar, é solubilizada, retardando a reação de pega e endurecimento da pasta de cimento. O ambiente alcalino do cimento poderá contribuir para a conversão parcial da hemicelulose e polímeros de açúcar provocando problemas na pega. Os extrativos solúveis em água, que migram para a superfície da madeira formam uma camada hidrófoba sobre o grão de cimento, que reduzem as pontes de hidrogênio entre a madeira e o cimento, implicando em uma diminuição de resistência na interface.

Segundo Biblis & Lo. (1968), a quantidade e o tipo de substâncias orgânicas presentes na madeira, variam entre coníferas e dicotiledôneas, como também em relação à madeira de verão ou inverno. De todos os componentes orgânicos, os carboidratos parecem ter o maior efeito na pega do cimento. A lignina não apresenta nenhum efeito inibitório assim como os terpenos, o mesmo não acontecendo com os taninos, especialmente os hidrolisáveis.

Miller & Moslemi (1991), analisando o comportamento de compósitos com 10% de madeira (em massa) em quatro dicotiledôneas e cinco coníferas, com relação às características da hidratação do cimento e resistência à tração, concluíram, que as dicotiledôneas apresentaram geralmente um efeito prejudicial maior que as coníferas.

Este fato já era em parte esperado, pela presença de quantidades de hemicelulose solúvel maior nas dicotiledôneas, que podem ser dissolvidas em soluções alcalinas e degradadas em açúcares simples, tornando-as altamente inibitórias as reações de hidratação do cimento, restringindo desta forma o uso das mesmas, salvo com pré-tratamento.

Concluíram também que a resistência à flexão e o comportamento exotérmico de compósitos com dicotiledôneas foram mais adversamente afetados que os compósitos com

---

<sup>2</sup> SIMATUPANG, M. H.; SCHWARZ, G. H.; BROKER, F. W. Small scale plants for the manufacture of mineral-bonded wood composites. In: EIGHTH WORLD FORESTRY CONGRESS. (1978: Jakarta). Special paper. Indonésia, 1978. 21p.

coníferas. Da mesma forma o cerne das coníferas, em relação ao alburno, afetaram o compósito de modo diferente, o que pode ser atribuído, provavelmente, devido à presença de taninos, hemicelulose e açúcares solúvel.

Segundo Gnanaharan & Dhamodaran<sup>3</sup> (1985 *apud*. LATORRACA, 2000), a incompatibilidade da madeira com o cimento, esta associada à quantidade de extrativos solúveis em água quente ou fria. Uma maior quantidade lixiviada durante a mistura com o cimento afetarão negativamente a pega e o endurecimento.

Estudos com base no teor de extrativos solúveis em água fria ou quente são os mais realizados para identificação de como essas substancias afetam a pega e o endurecimento da pasta de cimento. A diferença de compatibilidade pode acontecer se existirem variações no conteúdo e composição dos extrativos entre espécies semelhantes ou distintas.

## **2.4 O resíduo industrial de madeira**

A extração da madeira gera grande quantidade de resíduos, levando em conta os resíduos florestais, aqueles gerados e deixados nas florestas como resultado das atividades da extração assim como os resíduos industriais gerados pelo seu beneficiamento.

Os resíduos industriais de madeira são provenientes do processamento mecânico das toras de madeira bruta. No processo de beneficiamento estão envolvidas várias etapas, de acordo com o uso destinado ao material. Cada etapa gera uma quantidade e tipo de resíduo, que passam a ser descartados e acumulados no meio ambiente, causando não somente problemas de poluição, como caracterizando desperdiço da matéria originalmente utilizada (REVISTA REFERÊNCIA, 2003).

O resíduo pode apresentar-se sob várias formas e texturas, dependendo da indústria e da espécie beneficiada, que vão desde cascas, costanheiras, destopo, serragem, maravalhas, pó de lixamento, sobras e rejeitos, havendo a necessidade de caracterização para uso.

O uso tradicional do resíduo não passa muitas vezes dos limites da indústria, servindo de combustível para geração de energia, ou outras finalidades menos nobres, como

---

<sup>3</sup> GNANAHARAN, DHAMODARAN, T. K. Suitability of Some Tropical Hardwoods for Cement-Bonded Wood-Wool Board Manufacture. *Holzforschung*. V. 39, p. 337-340, 1985.

forração de pisos de granjas. Os excedentes são eliminados pela queima, que não agregam nenhum valor. A indústria de chapas prensadas tem preferência pelos materiais virgens, que são triturados em granulometria uniforme.

A grande vantagem da utilização de resíduos em chapas de cimento-madeira é que a matéria-prima poderá custar muito pouco e em alguns casos sai de graça. A despesa ficará restrita ao transporte do material.

Algumas pesquisas vêm abrindo o caminho para o uso de resíduos de madeira. Os trabalhos pesquisados referem-se ao uso dos resíduos na fabricação de chapas de madeira reconstituída (GONSALVES & RUFFINO, 1989); (IWAKIRI et al., 2000) e chapas *Wood Plastic Composites* (WPC) com madeira e plástico (TEIXEIRA, 2005).

## 2.5 A água

Pela lei de Abrams, a relação água/cimento é o principal responsável pela resistência a esforços mecânicos nas argamassas e concretos. A resistência varia na razão inversa da relação água/cimento, como regra, pode-se dizer que o coeficiente decresce com o aumento da resistência.

De acordo com Neville<sup>4</sup> (1982 *apud*. LATORRACA, 2000), a hidratação completa de uma amostra de cimento em ambiente estanque, só é possível quando a água requerida pela pasta for pelo menos igual ao dobro da água solicitada pela reação. A relação água/cimento não deve ser inferior a 0,38 em massa, pois valores inferiores não levarão a hidratação completa. Por outro lado se a relação água/cimento for maior que 0,38 todo cimento pode hidratar, mas também estarão presentes poros capilares<sup>5</sup>.

Em consequência da grande incidência de poros permeáveis, que incluem as lacunas e lumens, as fibras vegetais apresentam grande absorção de água (maior que 90%) e massa específica aparente bastante inferior a real.

Segundo Wolfe & Gjinolli (1999), a água na mistura do compósito cimento-madeira, deve ser suficiente para manter as fibras de madeira saturadas, propiciar a hidratação do cimento e proporcionar consistência à mistura. A água utilizada poderá ser limitada pela

---

<sup>4</sup> Neville, Adam M. Propriedades do concreto. 1ª Edição, São Paulo: Editora PINI, 1982. Tradução de Salvador E. Giammusso. São Paulo: 1982.

<sup>5</sup> Vazios com diâmetro entre 3 e 5µm, responsáveis pela permeabilidade e resistência à compressão.

Equação 2.1, verificando os pesquisadores que a água em excesso contribui para baixa resistência da chapa.

$$\text{Água} = 0,25MC + 0,5MS \quad (2.1)$$

Onde: MC = massa de cimento;

MS = massa de madeira seca.

Gram<sup>6</sup> (1994 *apud*. PIMENTEL, 2000), definiu a quantidade de água, conforme ensaio, que visa determinar a trabalhabilidade adequada para produção de telhas. Este ensaio consiste na medição do diâmetro aproximado de uma amostra adensada com golpes de um soquete, em molde padrão cilíndrico de 67mm de diâmetro por 47mm de altura, sobre uma mesa vibratória, por um período de 10 segundos.

A trabalhabilidade é dada pela Equação 2.2 abaixo:

$$T = \frac{a'+b'}{2} \quad (2.2)$$

Onde: a' e b', são o maior e o menor diâmetro do material esparramado.

O valor de T deve ficar situado entre 24 e 26cm.

Segundo Campos et al. (1999), a verificação da trabalhabilidade por meio do Slump test e do Flow table, são inadequadas ao compósito cimento-madeira, o que não foi explicado pelo autor e a determinação da massa de água, Equação 2.3, pode ser utilizada para confecção de compósito cimento-madeira.

$$Mh = Mc + 2,7Mn \quad (2.3)$$

Onde: Mh = massa de água;

Mc = massa de cimento;

Mm = massa de madeira seca.

---

<sup>6</sup> GRAM, H; CUT, P. 1994, Directives pour le controle de qualite. St. Gallen: SKAT/BIT, Serie Pedagogique TFM/TVM, Outil 23, 69p.

No entanto Campos (1999), para confecção de compósito cimento-madeira utilizou material passante na peneira 2,38mm adotando a seguinte correção dada na Equação 2.4:

$$Mh = 0,25Mc + 1,23Mm \quad (2.4)$$

Latorraca & Iwakiri (2000), quantificaram a água de amassamento na mistura, para determinação do índice de inibição de cinco espécies florestais, utilizando os valores sugeridos por Hofstrand et al. (1984), calculados com base no peso seco das partículas de madeira e do cimento, dados na Equação 2.5 a seguir:

$$\text{Água} = 0,25MC + 2,7MS \quad (2.5)$$

Latorraca (2000), na produção de painéis cimento-madeira com *Eucalyptus spp.* utilizou a Equação 2.6, apresentada por Moslemi & Pfister (1987).

$$\text{Água} = 0,35C + (0,30 - TU) \times M \quad (2.6)$$

Onde: C = massa de cimento;

TU = teor de umidade da madeira;

M = massa de madeira.

O excesso de água no compósito cimento-madeira além de acarretar alta porosidade na mistura, permite que os espaços deixados pela mesma sejam ocupados pelo hidróxido de cálcio, contribuindo para formação de uma zona de transição de pouca resistência.

Logo, a mistura deve conter a mínima quantidade capaz de proporcionar à hidratação da pasta de cimento e a saturação das fibras de madeira, caso contrário não haverá água suficiente para hidratação da pasta.

## 2.6 Aditivos Químicos

De acordo com Metha & Monteiro (1994), os aditivos são substâncias químicas capazes de reforçar ou melhorar o desempenho de concretos e argamassas sem, contudo corrigir deficiências de dosagem ou de lançamento.

Os aditivos variam de tensoativos, sais solúveis e polímeros a minerais insolúveis, que tem por finalidade a melhoria da trabalhabilidade, aceleração ou aumento do tempo de pega, controle do desenvolvimento da resistência entre outras propriedades.

As substâncias empregadas como aditivos podem ser divididas, em amplo modo, em dois tipos:

- Substâncias que agem instantaneamente sobre o sistema água-cimento, por modificação da tensão superficial da água e por adsorção à superfície das partículas de cimento;
- Outras que se dissociam em seus íons constituintes e afetam as reações químicas entre compostos do cimento e a água, de alguns minutos, até algumas horas após adição.

Segundo Zucco (1999), o uso de aceleradores provoca o rápido endurecimento da mistura, através do aumento na formação da estrutura cristalina do cimento, não sendo liberadas imediatamente substâncias inibidoras solúveis em água (contidas na madeira), em quantidades que impeçam a reação exotérmica do cimento.

Alguns pesquisadores fizeram uso de aditivos, com a finalidade de reduzir o tempo de pega dos painéis cimento-madeira. Dentre os aditivos destacam-se o uso de aceleradores de pega, que tem como objetivo, eliminar o efeito indesejável das substâncias presentes na madeira, solúveis na água de amassamento da mistura.

Segundo Metha & Monteiro (1994), o  $\text{CaCl}_2$  é o aditivo mais conhecido e empregado. Seus efeitos são notados no tempo de pega inicial e final e no aumento da resistência à compressão nos primeiros três dias de cura.

A adição de  $\text{CaCl}_2$  cloreto de cálcio aumenta a velocidade de crescimento da resistência e a velocidade de despreendimento de calor nas primeiras horas, funcionando provavelmente como um catalisador das reações do  $\text{C}_3\text{S}$  e do  $\text{C}_2\text{S}$ .

Zhengtian & Moslemi (1985), testando 30 aditivos, verificaram que alguns possuem efeitos negativos sobre a hidratação da mistura cimento-madeira, dependendo da quantidade, que pode variar de acordo com a espécie.

Dentre os aditivos testados, o  $\text{CaCl}_2$  foi incluído entre os de melhor desempenho. Embora apresente o efeito indesejável de corrosão das armaduras, sua aplicação em concreto não estrutural não oferece riscos ao material.

Moslemi et al. (1983); Teixeira & Guimarães (1989); Lee & HSE (1999); Teixeira et al. (2001); Latorraca & Iwakiri (2001) e Beraldo et al. (2002), na tentativa de melhorar a pega da pasta de cimento, exploraram a inclusão de aditivos químicos no compósito cimento-

madeira. Estes pesquisadores utilizaram o  $\text{CaCl}_2$  em proporção variando de 3% a 5% em relação à massa de cimento, comprovando sua eficiência como aditivo acelerador.

## **2.7 Estudos sobre fibras vegetais**

Em vários países desenvolvidos do mundo, são usadas fibras de celulose para produção de compósito cimento-madeira, utilizando processos de produção adaptados do cimento amianto da fabricação de telhas para cobertura (SAVASTANO JUNIOR et al., 2003).

Compósitos de fibras são largamente usados no mundo. Embora o compósito cimento-madeira seja produzido na maioria dos países desenvolvidos, quase 70% da produção são baseadas na fibra de amianto, que em países da América do Sul e parte da Ásia, atingem 95% do consumo (WARDEN et al. 2000).

O interesse por fibras de madeira para reforço de matriz cimentante foi após a II guerra mundial devido à escassez de fibras de amianto, este fato causou a algumas empresas considerar as fibras de celulose como um substituto das fibras de amianto (WOLFE & GJINOLLI, 1997).

Vários pesquisadores como Savastano Junior (1992); Lin (1994); Geimer et al. (1996); Latorraca (2000); Warden et al. (2000); Beraldo et al. (2002) e Toledo Filho et al. (2003), têm desenvolvido pesquisas direcionadas as interações físicas e químicas entre o cimento e as fibras vegetais.

Segundo Savastano Jr. (2004), o estudo sistemático de fibras, com a finalidade de reforço de matrizes, começou em 1970 na Inglaterra e no Brasil em 1980 no Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (CEPED) Camaçari, Bahia.

Beraldo et al. (2002), ressaltou o interesse das pesquisas em função das propriedades de leveza e isolamento termo-acústico das fibras vegetais, além do baixo custo e da grande disponibilidade de matéria prima.

A utilização de fibras vegetais por serem recursos renováveis e apresentarem baixo custo quando comparadas as sintéticas, podem representar uma economia na fabricação de novos materiais. Além de alta disponibilidade elas possuem resistência mecânica, comparáveis as de amianto e são renováveis. As fibras vegetais não representam qualquer risco à saúde humana ao longo das diversas etapas do ciclo de vida do material.

Segundo Latorraca (2000), estas pesquisas têm ido ao encontro de soluções de problemas, tais como, o estudo das interações físicas e químicas entre madeira e cimento e a redução do tempo de cura de painéis cimento-madeira.

De acordo com Toledo Filho et al. (2003), o interesse principal das pesquisas sobre fibras vegetais para fabricação de compósitos à base de cimento, está relacionado à durabilidade das mesmas no meio alcalino, onde foi verificada a redução, de resistência, em argamassas reforçadas com fibras de coco e sisal em corpos-de-prova em idades de 28 a 360 dias, após a exposição no meio ambiente e a ciclos de molhagem e secagem com variação de temperatura.

Segundo Savastano JR. (1992), o estudo da interface fibra-matriz é necessário para o desenvolvimento de compósitos com melhores propriedades de aderência com a matriz e melhor durabilidade em presença de meio alcalino e umidade, embora a velocidade de degradação seja relativamente baixa. De acordo com o autor a estrutura das fibras vegetais, apresenta elevada capacidade de absorção de água e inchamento, o que provoca uma redução de resistência e aderência com a matriz, permitindo um deslizamento entre as fases. O uso de pressão na moldagem de compósito poderá combater esse comportamento, contribuindo para redução da relação água-cimento. Uma vez retirada à pressão a fibra porosa devolve à matriz parte da água absorvida, ajudando a manter a interface mais densa.

Segundo Savastano Junior & Agopyan (1996), as fibras são formadas por células individuais que, por sua vez, compõem-se de microfibrilas dispostas em camadas de diferentes espessuras e ângulos de orientação. Estas células possuem uma cavidade central denominada lúmen, conforme mostrado na Figura 2.1. As fibras podem também apresentar uma cavidade denominada de lacuna. Em compósitos com cimento estas cavidades absorvem grande quantidade de água, contribuindo para a existência de poros permeáveis, favorecendo a formação de cristais de hidróxido de cálcio, comprometendo o desempenho da zona de transição e as propriedades mecânicas do compósito.

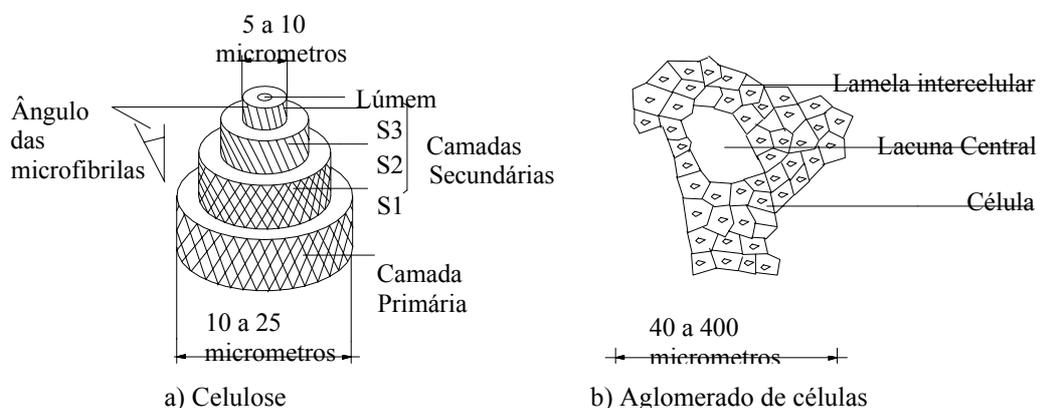


FIGURA 2.1 – Esquema da estrutura da fibra de celulose e de uma macrofibra (Savastano Jr. 1992).

As células individuais são ligadas umas as outras pelas lamelas intercelulares, compostas de hemicelulose, pectina e, principalmente, lignina (70%, em média), que se decompõe facilmente em meios alcalinos, levando a perdas consideráveis no desempenho mecânico do compósito à base de cimento.

As fibras não respondem isoladamente pelo desempenho do compósito, bons resultados poderão ser atingidos por uma dosagem e relação água-cimento adequados, diminuindo os poros permeáveis, e melhorando a resistência de aderência na zona de transição fibra-matriz.

Geimer et al. (1996), pesquisaram a durabilidade de compósitos de baixa densidade para a espécie *Populus sp.*, por meio de processo de envelhecimento de 10 ciclos de gelo e degelo. Foram mostradas alterações nas propriedades mecânicas em valores abaixo de 50% (gelo) e 75% (degelo), respectivamente, não apresentando o compósito inchamento irrecuperável.

As fibras vegetais no ambiente alcalino do cimento estão sujeitas, à degradação, pela alta alcalinidade da água presente nos poros da matriz, com pH superior a 13. O ataque biológico através de fungos xilófagos<sup>7</sup>, não representa maiores preocupações em presença de um pH elevado. A elevada porosidade da zona de transição, a presença de portlandita e umidade, em quantidades elevadas aceleram a degradação da fibra.

O meio alcalino é o principal responsável pela degradação das fibras vegetais, e o efeito macroscópico disso, é a redução nas propriedades físicas e mecânicas do compósito, em idades mais avançadas. Ambientes com baixa umidade relativa oferecem melhores condições de degradação, bem menos intensa, o que pode viabilizar a aplicação deste material.

À durabilidade de compósitos com fibras vegetais, para o clima brasileiro, poderá ser solucionada com uso de aglomerantes alternativos de baixa alcalinidade, proteção superficial das fibras de madeira com polímeros hidro-repelentes, ou ainda o emprego desses compósitos em ambientes secos. Deve-se levar em conta o alto custo de algumas dessas soluções de forma a não inviabilizar o uso das fibras vegetais.

## **2.8 Compósito cimento-madeira**

De acordo com a literatura técnica, compósito é todo material obtido pela mistura de

---

<sup>7</sup> Xilófagos. Insetos que se alimentam de madeira.

um ou mais componentes, com uma matriz que pode ser orgânica ou inorgânica. As interações físicas e químicas entre seus constituintes, modificam o comportamento final, originando um material com propriedades que não são encontradas isoladamente nos constituintes.

Lin et al. (1994), mostraram em suas pesquisas, que as fibras de madeira, inclusive fibras de papel reciclado, podem ser usadas economicamente para reforçar matrizes cimentantes. Um bom conhecimento das fibras é importante para melhorar a compatibilidade entre fibras e o cimento para uma utilização bem sucedida como reforço.

O compósito cimento-madeira tem grande potencial de uso na construção civil, pelas suas propriedades de resistência ao fogo e ataque de cupins. Sua aplicação em climas quentes e úmidos é garantida pela matriz cimentante que proporciona uma superfície durável que pode receber acabamento (WOLFE & GJINOLLI, 1997).

Estas propriedades são devidas a matriz alcalina, pH em torno de 11 e a proporção de cimento na mistura que chega a atingir 60% da massa do compósito.

Segundo Wolfe & Gjinolli (1999), o compósito cimento-madeira foi usado comercialmente por volta do ano de 1900, na forma de painéis para forro e divisórias internas, pois reúnem estética, resistência ao fogo e atenuação de resíduos.

De acordo com Beraldo et al. (2002), o uso destes materiais, data de longo tempo. Os Egípcios já utilizavam as fibras vegetais para diminuir as fissuras dos tijolos de adobe. Ressalta ainda, as vantagens como isolamento termo-acústico, leveza, disponibilidade de matéria-prima renovável de baixo custo e, também, modificação das propriedades da matriz.

Alguns pesquisadores têm mostrado a possibilidade de controle dos efeitos deletérios da interação cimento-madeira, obtendo resultados positivos. Muitos problemas de interação podem ser minimizados ou eliminados por um controle das espécies e condições das partículas usadas.

## 2.9 Fabricação e aplicações do compósito cimento-madeira

Um dos compósitos conhecidos é a chapa cimento-madeira (Figura 2.2) que combina as propriedades de dois materiais importantes: cimento e madeira na forma de fibras, fios, flocos, fatias ou partículas, com vantagens específicas sobre os painéis convencionais de resina (madeira aglomerada), com aplicações comparadas aos compensados, o que torna atrativo para indústria (DWIGHT, 2003).



FIGURA 2.2 – Chapas de cimento-madeira com acabamento ([www.durisobuild.com/](http://www.durisobuild.com/))

A produção industrial da chapa cimento-madeira consiste na seleção de coníferas que são transformadas em partículas em torno de 10 a 30mm de comprimento e 0,2 a 0,3mm de espessura. Após a seleção, as partículas são misturadas ao cimento e a água na proporção em massa de 60% de cimento, 20% de madeira e 20% de água. Pequena quantidade de aditivo químico é adicionada à mistura para acelerar a pega do cimento. As chapas são moldadas e mantidas sobre pressão durante seis a oito horas, após este período, as referidas chapas são armazenada em câmara com temperatura de 70 a 80°C e, após desmoldadas, sua cura faz-se ao ar livre.

De acordo com Biblis & Lo (1968), os painéis cimento-madeira foram primeiramente usados na Europa como material de isolamento térmico, em residências. Nos Estados Unidos são usados com a finalidade de decoração e isolamento térmico.

Segundo Chapola (1989), painéis cimento-madeira são altamente recomendáveis para uso em locais úmidos, ou que apresentam risco de incêndio, em substituição ao painel de madeira aglomerada.

Em ANU *Homepage* (2000), é possível encontrar várias usos para chapas cimento-madeira. As Figuras 2.3 a 2.6 mostradas a seguir, exemplificam algumas das possíveis utilizações deste material.



FIGURA 2.3 – Forro de quadra esportiva



FIGURA 2.4 – Fechamento de prédio



FIGURA 2.5 – Residência



FIGURA 2.6 – Residência de baixo custo

Fonte: <http://sres.anu.edu.au/associated/fpt/cfb/contents.html>

Além destas, as chapas de cimento-madeira poderão ser usadas em barreiras para fogo, barreiras para som e miolo de divisórias, entre outras aplicações.

Segundo Pimentel (2000), o compósito de cimento-madeira tem grandes possibilidades de utilização, apresentando como principais vantagens:

- Disponibilidade de matéria prima e menor exigência quanto a defeitos;
- Baixa massa específica, variando de 400 a 1500 kg/m<sup>3</sup>, permitindo sua utilização como painel de fechamento, forros e telhas etc.;
- Isolante termo-acústico;
- Baixa permeabilidade, quando comparado à madeira e chapas de compensado;
- Resistência mecânica;
- Pode ser serrado e furado;
- Pode receber pregos e parafusos.

Como desvantagem principal, problemas de compatibilidade química com o cimento, pois o mesmo não responde igualmente para todas as espécies, e também:

- Instabilidade dimensional entre os estados, seco e saturado;
- Durabilidade reduzida da biomassa vegetal, sob o efeito do meio alcalino, diminuindo a resistência mecânica do material ao longo do tempo;
- Espécies selecionadas que produzem chapas de grande peso.

O peso do painel é largamente influenciado pela adição de cimento que representa uma desvantagem econômica, visto que o mesmo tem custo maior que o resíduo de madeira. Adição de grande quantidade de cimento poderá aumentar o custo da chapa.

De acordo com Latorraca (2003), a produção de painéis cimento-madeira exige plantas relativamente pequenas quando comparadas às plantas de aglomerado convencional. Embora seu uso esteja consolidado em diversos países, a produção em nível industrial ainda inexistente no Brasil.

Segundo a WPIF (2004), a produção industrial de *Cement bonded particleboard* (CBPB) teve seu início na década de setenta, sendo produzido até os dias de hoje, satisfazendo os requisitos de uso quanto à sua especificidade. As chapas são fabricadas em quantidades relativamente pequenas em mais ou menos 50 indústrias espalhadas pelo mundo, com manufatura cada uma em torno de 200 m<sup>3</sup>/dia.

A produção comercial de compósitos utilizando como matéria prima, resíduo de madeira se faz presente em países da Europa e nos Estados Unidos. No Brasil, devido principalmente a grande oferta de matéria-prima virgem, ainda não foi despertado o interesse comercial pelo uso destes resíduos pela indústria de chapas aglomeradas, além deste, percebe-se ainda problemas de irregularidades das partículas geradas nas operações de aplainamento e serragem, o que só faz aumentar o interesse da indústria nacional pelo uso do material virgem.

## **2.10 Avaliação da compatibilidade química entre a madeira e o cimento**

Segundo alguns pesquisadores a compatibilidade química entre a madeira e o cimento, pode ser avaliada por ensaios, para determinação do calor de hidratação da mistura cimento-madeira, ou pela verificação da resistência à compressão em corpos-de-prova cilíndricos.

Weatherwax & Tarkow (1964), mediram o efeito inibitório das espécies de madeira, em função do intervalo de tempo para a mistura atingir a temperatura máxima de hidratação do cimento, onde os mesmos observaram a influência da granulometria e a razão das

partículas madeira/cimento, determinando um índice inibitório (I), de acordo com a Equação (2.7) abaixo:

$$I = \left[ \frac{t'_2 - t_2}{t_2} \right] \times 100(\%) \quad (2.7)$$

Onde:

$t'_2$  – tempo requerido para que a temperatura máxima da mistura, cimento-madeira e água seja atingida;

$t_2$  – tempo requerido para que a temperatura máxima da mistura, cimento água seja atingida.

Pesquisa efetuada por Sandermann & Kholer<sup>8</sup> (1964 *apud*. Hofstrand et al., 1984), sugere que espécies altamente satisfatórias alcancem temperatura de hidratação maior que 60°C quando misturadas ao cimento, entretanto espécies menos satisfatórias não excedem a 50°C.

Segundo Neville (1997), grandes quantidades de açúcar, por exemplo, 0,2 a 1% em massa, dependendo da composição química do cimento, inviabiliza virtualmente a pega do cimento. Quando o açúcar é usado como retardador, as resistências iniciais são reduzidas, aumentando após sete dias de cura em relação a uma pasta de cimento sem retardador. Segundo o autor é provável que a pega mais lenta dê origem a um gel mais denso, o que explicaria o aumento de resistência.

Lee et al. (1987), avaliaram o efeito de seis espécies, incluindo coníferas e dicotiledôneas usando proporção cimento/madeira, variando de 14/1 a 4/1 (em massa), verificaram que o tempo de hidratação foi drasticamente prolongado, quando foi diminuída a relação cimento/madeira, especialmente para as dicotiledôneas.

Segundo Beraldo & Carvalho (2004) a tensão de ruptura depende evidentemente além da natureza dos constituintes utilizados, da razão entre os mesmos (traço). Dosagens muito elevadas de aglomerante, pode ocultar o efeito nocivo à sua pega, causado por uma matéria-prima vegetal rica em extrativos.

---

<sup>8</sup> SANDERMANN, W.; KHOLER, R. 1964. Studies on mimeral-boded wood materials. IV. A short test of the aptitudes of woods for cement-bonded materials. *Holzforschung* 18 (12): 53-59. As cited in *Forestry Abst.* Vol 26: 1502.

A relação cimento madeira, tem influência direta no tempo de hidratação. As altas relações cimento/madeira usadas tradicionalmente em laboratórios por pesquisadores podem exatamente não ter o efeito pensado da compatibilidade das baixas relações utilizadas pela produção comercial.

De acordo com Moslemi & Lin (1984), as curvas de hidratação de uma mistura cimento-água e cimento-madeira-água, mostradas na Figura (2.7), pode ser dividida em três fases distintas de tempo e temperatura.

- 1 – Aumento inicial de temperatura (0 para  $t_1$ ) e (0 para  $t_1'$ );
- 2 – Período de dormência ( $t_1$  para  $T_1$ ) e ( $t_1'$  para  $T_1'$ );
- 3 – Endurecimento do cimento exibindo rápida elevação de temperatura ( $T_1$  para  $T_2$ ) e ( $T_1'$  para  $T_2'$ ).

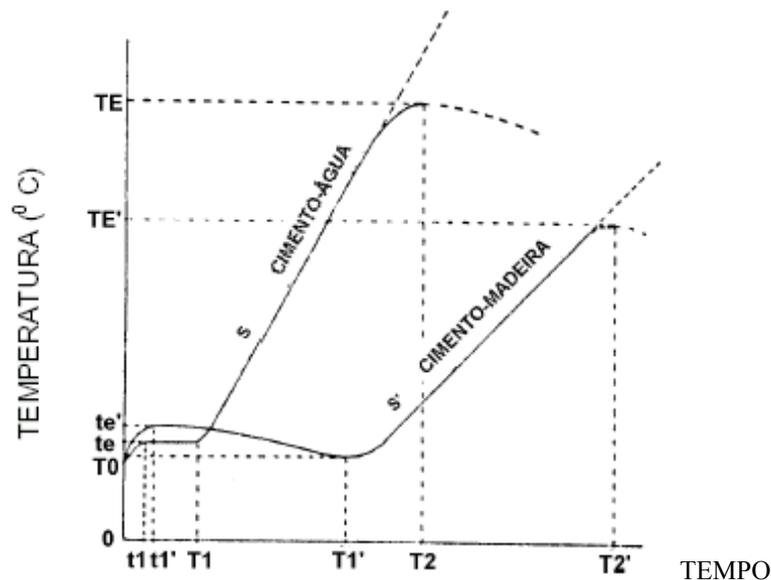


FIGURA 2.7 – Representação da curva típica de hidratação do cimento (Latorraca 2000).

As amostras estudadas apresentaram baixa temperatura de hidratação e taxa mais baixa de hidratação por hora, comparada com a curva de hidratação da pasta de cimento. Não foi explicado o aumento inicial da temperatura da mistura cimento-madeira ser mais alta que da pasta de cimento. Os períodos de dormência ( $t_1'$  para  $T_1'$ ) e temperaturas mais baixas para as misturas cimento-madeira-água em relação à mistura cimento-água podem ser explicados pela presença de açúcares solúveis em água e outros extrativos.

Hofstrand et al. (1984), ao pesquisarem o comportamento de nove espécies de madeira, quando misturadas ao cimento, concluíram que a curva Tempo x Temperatura difere, significativamente entre as espécies, com o menor índice de inibição as de reação exotérmica, e as mais inibitórias as que exibiram reações endotérmicas.

Estas diferenças entre temperatura de reação podem ser expressas numericamente por um índice inibitório (**I**) Equação (2.8) a seguir, e que o mesmo pode ser computado dos valores da temperatura máxima de hidratação  $T_2$ , a máxima inclinação da curva exotérmica ( $S_{\max}$ ) e o tempo de hidratação para alcançar a temperatura máxima ( $t_2 - t_0$ ) do cimento inibido, quando comparado respectivamente com os valores do cimento sem a mistura de madeira.

$$I = 100 \times \left[ \left( \frac{t_2 - t'_2}{t'_2} \right) \times \left( \frac{T'_2 - T_2}{T'_2} \right) \times \left( \frac{S'_2 - S_2}{S'_2} \right) \right] \quad (2.8)$$

Com:

$$S'_2 = \frac{\Delta T'_2}{\Delta t'_2} \quad \text{e} \quad S_2 = \frac{\Delta T_2}{\Delta t_2}$$

Onde:

- $t_2$  – tempo para a mistura cimento-água atingir a temperatura máxima de hidratação;
- $t'_2$  – tempo para a mistura cimento-madeira-água atingir a temperatura máxima de hidratação;
- $T_2$  - temperatura máxima atingida pela mistura cimento-água;
- $T'_2$  - temperatura máxima atingida pela mistura cimento-madeira-água;
- $S_2$  - variação máxima de temperatura por hora para a mistura cimento-água;
- $S'_2$  - variação máxima de temperatura por hora para a mistura cimento-madeira-água.

Baseados em dados das espécies estudadas, concluíram que o tempo para alcançar a temperatura máxima de hidratação da mistura, pode ser usado como um indicador das características de inibição.

a) Espécies, com índice inibitório menor que 10%, apresentaram ( $t_2 - t_0$ ) com menos de 15 horas, e poderão ser candidatas à manufatura de chapas;

b) E as que apresentaram valores superiores a 50% ( $t_2 - t_0$ ) acima de 20 horas, são consideradas altamente inibitórias, necessitando de tratamento para reduzir a inibição.

Lee & Hong<sup>9</sup> (1986 *apud.* LEE & SHORT, 1989), relataram que a resistência à compressão nos compósitos de várias espécies foi linearmente proporcional à máxima temperatura de hidratação, porém independente do tempo de hidratação. Outros pesquisadores

<sup>9</sup> LEE, A. W. C.; HONG, Z. 1986. Compressive Strength of Cylindrical Samples as an Indicator of Wood-Cement Compatibility. Forest Prod. J. 36(11/12): 87-90.

segundo os autores, têm usado o teste de resistência à compressão axial para as misturas cimento-madeira como um indicador de compatibilidade.

Ramírez & Freire (1996); Zucco (1999); Pimentel (2000) e Beraldo (2002), embora tenham trabalhado com espécies vegetais diferentes comprovaram a adequação do ensaio de compressão axial, de fácil execução.

Além destes métodos de avaliação da compatibilidade, Hachimi & Moslemi (1990), sugerem a utilização do fator de compatibilidade (CA), que é a razão entre a área da curva de hidratação cimento-madeira-água, em relação à área da curva de hidratação do cimento-água usado como referência, Figura 2.8 a seguir:

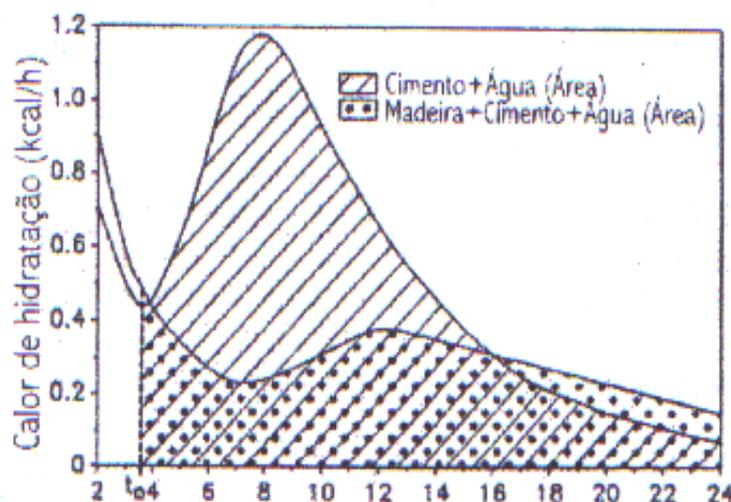


FIGURA 2.8 – Representação da área sob a curva de hidratação para a mistura cimento-água e cimento-madeira-água. O eixo x representa o número de horas. (Hachimi et al. 1990).

Segundo os autores esta proposta de classificação da compatibilidade, apresenta vantagens importantes por levar em consideração todos os fatores relevantes, como teor de extrativos, composição química, relação cimento-madeira, relação água/cimento, tempo e temperatura de hidratação.

Segundo Hachimi et al. (1990), as espécies consideradas como compatíveis apresentam um fator CA superior a 68%, e as moderadamente compatíveis entre 28% e 68% e as incompatíveis valores abaixo de 28%.

## 2.11 Redução da incompatibilidade química entre a madeira e o cimento

Segundo a literatura, a incompatibilidade química entre a madeira e o cimento, poderão ser reduzidas, com uma seleção da espécie de madeira, com o tipo de cimento, com tratamentos físico-químicos, com a granulometria ou com o uso de aditivos.

Para Zucco (1999), a incompatibilidade química poderá ser atenuada parcialmente, com processos de lavagem das partículas vegetais, ou atuando sobre a matriz cimentante.

O objetivo da lavagem seria eliminar os extrativos solúveis em água, que inibem a pega e endurecimento, e a modificação da matriz (tempo e temperatura máxima de hidratação) seria obtida pelo uso de aceleradores de pega, ou pela utilização de cimento com alto calor de hidratação.

De acordo com Savastano Junior et al. (2000), a maior preocupação com a utilização de fibras naturais para reforço de materiais à base de cimento, é a degradação da fibra em meio alcalino. Compósitos preparados com cimento de baixa alcalinidade representam uma alternativa para construções de baixo custo.

Segundo Viçar et al. (1999), a degradação química das fibras lignocelulósicas no ambiente alcalino da matriz pode ser prevenida, reduzindo-se a alcalinidade da matriz, com substituição parcial do cimento, por sílica ativa, tratando-se as fibras com agentes repelentes à água ou usando polpas de celulose obtidas por processos químicos.

Moslemi et al. (1983), realizando estudos sobre o efeito dos tratamentos lavagem em água quente e em solução de NaOH, para determinação do impacto na compatibilidade da mistura cimento-madeira das espécies coníferas *Lodgepole pine* e *Western Larch*, estes concluíram que houve substancial melhoramento na pega da mistura pela remoção dos extrativos solúveis em água e açúcares, pela lavagem das partículas em água quente e em solução de 1% de NaOH.

Segundo Ramirez & Freire (1996), a lavagem das partículas em água quente, tem por objetivo, reduzir o teor de açúcar residual das fibras, diminuindo a interferência nas reações de pega e endurecimento da pasta de cimento.

Okino et al. (2004), ao ferverem partículas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg (seringueira) verificaram que não houve eficácia para esta espécie, podendo ser dispensado o banho térmico. Os autores sugeriram a busca por tratamento mais adequado para estas partículas.

Uma outra forma de reduzir a incompatibilidade química das partículas de madeira é o método da mineralização, proposto por Furuno et al.<sup>10</sup> (1991 *apud*. RAMÍREZ & FREIRE, 1996), e utilizado por Batista (2002), que consiste na impregnação das fibras vegetais com sais, que tem finalidades diversas, tais como: a proteção das fibras contra a agressividade do meio alcalino, proporcionado pelo cimento, diminuição da capacidade de absorção de água, imobilização do açúcar residual, melhora da durabilidade do compósito, em relação ao ataque de micro organismos, e resistência ao fogo.

Para Latorraca (2000) a granulometria das partículas tem influência no tempo de pega e temperatura de hidratação dependendo da espécie. A menor granulometria de um modo geral, provoca um maior efeito inibidor sobre as propriedades supracitadas. No entanto a menor granulometria proporcionou, médias mais elevadas de resistência à compressão axial, para as partículas que não apresentam efeito inibidor elevado.

Segundo Simatupang et al. (1978), as partículas recomendadas, na fabricação das chapas de cimento-madeira, tem como dimensões, entre 2 – 20mm, de comprimento, 0,2 – 2,5 mm de largura e 0,1 – 0,9 mm de espessura.

O material mais fino não é utilizado porque este possui uma superfície específica superior, liberando desta forma uma maior quantidade de extrativos, solúveis em água, diminuindo a compatibilidade com o cimento, assim como a menor granulometria exige mais água na mistura cimento-madeira diminuindo a resistência mecânica do compósito.

Alguns pesquisadores dentre eles: Beraldo (1996); Beraldo (2002); Geimer et al. (1996); Latorraca, (2000); Teixeira & Guimarães, (1989) e Wolfe & Gjinolli, (1999), utilizaram o limite inferior das partículas, variando de 0,6 – 1,6 mm e obtiveram resultados satisfatórios nos ensaios de compressão.

Já com relação aos aceleradores de pega, Zhengtian & Moslemi (1985), analisaram a influência de trinta aceleradores de pega orgânicos e não orgânicos no processo de hidratação da espécie conífera *Western Larch*, altamente inibitória, com cimento portland em percentuais que variavam de 0,5% a 6,5%, baseados no peso do cimento, e concluíram que o efeito desfavorável dos extrativos solúveis em água era significativamente reduzido, usando os aceleradores SnCl<sub>2</sub>, FeCl<sub>3</sub> e AlCl<sub>3</sub>, que em média produziram temperaturas de hidratação superior a 60°C quando aplicados em quantidade de 5% a 6,5%, chegando a reduzir o tempo

---

<sup>10</sup> FURUNO, T.; UEHARA, T.; JODAI, S. Combinations of Wood and Silicate. I. Impregnation by Water glass and applications of aluminum sulfate and calcium chloride as reactants. Japan, Mokuzaï Gakkaishi 37 (5): 462-472, 1991.

para alcançar esta temperatura.

Verificaram também que a adição de 5% de  $\text{CaCl}_2$  na mesma espécie produziu uma temperatura máxima de hidratação de  $59^\circ\text{C}$ , com redução do tempo para oito horas. O sulfato de alumínio  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  foi incluído como de rápida reação, atingindo temperatura de  $39,7^\circ\text{C}$  com 6,5% de adição. Afirmaram ainda os pesquisadores que a espécie *Western Larch* no estado natural, é altamente inibitória, e que é provável que estes aceleradores ofereçam resultados satisfatórios em madeiras semelhantes.

A adição de aditivos químicos particularmente o  $\text{CaCl}_2$ , aumentou a formação dos cristais na mistura, melhorando o comportamento mecânico entre as partículas de madeira e o cimento. O  $\text{CaCl}_2$  age sobre os açúcares promovendo uma redução no tempo de pega. Contudo os tratamentos utilizados não são aplicáveis a todas as espécies.

Segundo Pimentel (2000), 6% de concentração dos aditivos  $\text{CaCl}_2$  e  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , na espécie *Pinus caribaea*, mostraram-se inadequadas, por provocarem uma falsa pega na pasta de cimento. Biblis & Lo (1968), concluíram que soluções com 1% de concentração de  $\text{CaCl}_2$ , na espécie *Southern pine*, minimizam significativamente o tempo de pega. Isto é atribuído a diminuição do efeito do açúcar contido na madeira. Concluiu também que concentrações acima de 10%, não alteram o tempo de pega.

Para Valenzuela<sup>11</sup> (1989 *apud*. LATORRACA, 2000), as concentrações de  $\text{CaCl}_2$  variam de acordo com a espécie e podem variar de 2% a 7% com base no peso do cimento. Segundo Zhengtian & Moslemi (1985) o teor de 5% de  $\text{CaCl}_2$ , produziu os melhores resultados aos parâmetros de hidratação do cimento para espécie *Western larch*, altamente inibitória, e que é provável que este resultado poderá ser aplicado a outras espécies.

## 2.12 Propriedades mecânicas e físicas do compósito

Savastano Junior et al. (2000), realizaram testes mecânicos aos 28 dias em compósitos contendo até 12% em massa de fibras de Sisal, Banana e *Eucalyptus Grandis*, encontrando ótimos resultados de resistência à flexão e módulo de ruptura (MOR), em torno de 20 MPa, obtendo o melhor desempenho a fibra de *Eucalyptus Grandis*.

---

<sup>11</sup> VALENZUELA, W. Contribution a la determination de l'aptitud d'essences forestieres pour la fabrication de panneaux de fibro-ciment. Gembloux (Belgique), Faculte des Sciences Agronomiques. 1989. 134 p.

Segundo Miller & Moslemi (1991) ensaios de resistência à tração realizada em compósitos com adição de partículas de dicotiledôneas e coníferas, mostraram que o desempenho das dicotiledôneas foi inferior, devido à presença de um teor maior de hemicelulose e ácido acético.

O efeito da solubilização da hemicelulose pode explicar algumas diferenças observadas entre dicotiledôneas e coníferas, assim como o conteúdo de ácido acético pode ser um fator que influencia a resistência da pasta de cimento endurecida.

Latorraca (2000), observou o efeito da variação granulométrica nas propriedades mecânicas e físicas de painéis cimento-madeira de quatro tipos de eucalipto. Para uma mesma espécie, na flexão estática, não houve efeito significativo nos valores de MOR (5,09 MPa máximo) e módulo de elasticidade (MOE, 2,64 GPa máximo) na espécie *Eucalyptus urophylla*. A diminuição da granulometria proporcionou médias superiores na compressão paralela (5,98 MPa máximo), e inferiores na tração perpendicular as faces da chapa ou ligação interna (0,22 MPa mínimo). Na absorção de água os finos foram responsáveis por médias mais elevadas (35,19%), e a variação dimensional (2,18%) não sofreu influência da granulometria.

O referido autor, concluiu ainda que as propriedades da flexão estão mais relacionadas à compactação da chapa que propriamente com a granulometria das partículas, justificando os resultados inferiores da espécie *Eucalyptus citriodora*, por apresentar uma densidade maior, desenvolvendo uma razão de compactação muito baixa.

Segundo Moslemi<sup>12</sup> (1974 *apud*. IWAKIRI, 2001), a razão de compactação que é a relação entre a massa específica da chapa e a massa específica da madeira, definem o grau de densificação do material, com valores adequados para aglomerados na faixa de 1,3 a 1,6. Valores acima de 1,6 podem melhorar as propriedades de resistência, mas por outro lado o inchamento em espessura será maior devido a maior taxa de compressão exercida sobre o material durante a fase de prensagem da chapa.

Outra propriedade física que tem influência sobre as propriedades mecânicas é o teor de umidade da chapa. Uma alta umidade relativa tem como consequência, alto teor de umidade de equilíbrio, resultando em diminuição no módulo de elasticidade e módulo de ruptura em painéis MDF (ELEOTÉRIO 2000).

Segundo Mendes et al. (2004), a densidade é a mais importante variável e tem sido um fator importante na seleção das espécies que podem ser destinadas a manufatura de

---

<sup>12</sup>MOSLEMI, A.A. Particleboard. Illinois: Southern Illinois University Press. V.2, 245. 1974.

painéis OSB (*Oriented Strant Board*). As madeiras de baixa densidade possibilitam a produção de painéis dentro da faixa adequada de densidade, além de apresentarem, normalmente, propriedades de resistência superiores a espécies de densidades elevadas.

De acordo com Kelly<sup>13</sup> (1977 *apud*. ELEOTÉRIO, 2000), o fator que realmente influencia as propriedades mecânicas em aglomerados é a taxa de compactação da matéria prima. Quanto maior a compactação maior o contacto com as partículas e adesivo. Dessa forma pode-se ter painéis com a mesma densidade final, mas com taxas de compactação diferentes, em função da densidade da madeira utilizada. A utilização de espécies de baixa densidade proporciona chapas com melhores propriedades mecânicas do que quando se utiliza madeira de alta densidade, por permitirem compactação com menor pressão.

As fibras de celulose são conformáveis e variam o volume ocupado, durante o período de prensagem, sofrendo significativa recuperação (efeito mola) no alívio das pressões aplicadas. O aumento do teor de fibra leva a um certo prejuízo no adensamento do compósito, daí a importância da manutenção do estágio de pós-prensagem nas chapas, durante o período de pega e endurecimento.

Okino et al. (2004), pesquisaram quatro clones de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg, (seringueira) para confecção de chapas na proporção 1: 4: 1 (madeira: cimento: água) em massa. Verificaram que para a propriedade Módulo de Elasticidade (MOE) as chapas apresentaram valores entre 4,24 e 6,28 GPa, valores superiores ao especificado por BISON<sup>14</sup> (1978) para painel estrutural HZ que é de 3 GPa.

Para o Módulo de Ruptura (MOR) os valores variaram de 4,8 a 8,7 MPa inferior à especificação BISON, para painéis estruturais HZ, que é de 9,0 MPa. Para ligação interna ou tração perpendicular, os valores variaram de 0,27 a 0,41 MPa, valores próximos à especificação BISON (0,40 MPa). O inchamento em espessura apresentou valores de 0,60 a 1,20%, inferiores ao especificado (1,2 a 1,8%). O painel HZ tem características de ser resistente a fungos e intempéries, não sendo combustível, além de apresentar propriedades mecânicas satisfatórias.

Moslemi & Pfister (1987), avaliaram em coníferas, a influência da proporção cimento-madeira em chapas com relação variando de 1,5 a 3, para verificação das

---

<sup>13</sup> KELLY, M. W. Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard. USDA FOR. SER. GEM. Tech Rep. FPL. Madison, v.10,66p.,1977.

<sup>14</sup> BISON (processo de fabricação de chapas de cimento-madeira)

propriedades de flexão e estabilidade dimensional, e concluíram que o módulo de ruptura aumentava quando a proporção cimento-madeira era diminuída, o que não acontecia com o módulo de elasticidade que crescia linearmente com o aumento da razão. A variação dimensional aumentou com a redução da razão cimento-madeira para 1,5 o mesmo não ocorrendo com a relação de 3 para 2. O enclausuramento natural da madeira na chapa possivelmente restringe a expansão volumétrica.

Massa específica, absorção de água e porosidade são propriedades físicas inter-relacionadas. À medida que o teor de fibra aumenta, a massa específica diminui e a absorção de água cresce significativamente contribuindo significativamente nas propriedades do compósito. De acordo com Latorraca (2000), a absorção de água sofre efeitos da variação granulométrica. Para o Eucalipto, a granulometria mais fina resultou em compósitos com maior índice de absorção, fato relacionado a maior área específica das partículas.

Segundo Savastano (2000), imagens de microscopia eletrônica de varredura demonstraram ser um instrumento eficiente de avaliação do desempenho macroestrutural, pela análise do grau de aderência entre as fases, e conseqüente fratura ou arrancamento das fibras. A zona de transição apresenta-se de forma diferenciada do restante da matriz, com espessura de até 100µm, alta porosidade, concentração de macrocristais de portlandita e microfissuras, características essas que se apresentam com diferentes intensidades, e está ligada à aderência fibra-matriz. A zona de transição é o ponto frágil entre as fases o que impossibilita uma maior sinergia da matriz com as fibras.

Segundo o autor, a análise por difração de raios X realizadas com pasta moída apresentou, um pico de carbonato de cálcio (calcita), de elevada intensidade. Esse composto tanto pode ser originário das adições presentes no aglomerante, como da carbonatação do hidróxido de cálcio (portlandita).

A elevada porosidade favorece a formação da portlandita, que não se forma na superfície da fibra, mas sim, no interior da zona de transição. Segundo John et al.<sup>15</sup> (1998 *apud*. SAVASTANO, 2000) apontaram que variações de volume das fibras, associadas a mudanças no seu teor de umidade, podem causar danos generalizados na interface fibra-matriz e assim contribuindo para queda do comportamento mecânico do compósito.

---

<sup>15</sup> JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. ; PRADO, T. A. Durabilidade de compósitos de cimentos e fibras vegetais para telhados. In: Simpósio Ibero-Americano de Telhados para Habitação, 3. São Paulo, 1998. Anais. São Paulo, Cytel/USP, 1998. p. 51-9.

De acordo com Beraldo & Carvalho (2004), no Brasil não existe especificação técnica para avaliar compósitos de acordo com o ensaio de compressão axial. Alguns trabalhos existentes na literatura utilizam-se de corpos-de-prova, extraídos de chapas prensadas, aos quais se aplicam ensaios de compressão e tração na flexão, baseados na norma ASTM D-1037-78B ASTM, (1982) e (1996).

## Capítulo 3

### Materiais e Métodos

#### 3.1 Planejamento experimental

Os experimentos foram realizados nos Laboratórios de Engenharia Civil, Laboratório de Mecânica, do Centro Tecnológico, Laboratório de raios-X e Microscopia Eletrônica de Varredura do Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará, de acordo com o fluxograma da Figura 3.1 em corpos-de-prova cilíndricos, com dimensões (5x10)cm, e corpos-de-prova retirados de chapas com dimensões 586X430X16 mm. A fase experimental foi baseada em especificações normativas. As variáveis dependentes foram às espécies de resíduos, o tratamento dos resíduos e os aditivos aceleradores de pega e as independentes: o cimento, a relação cimento/madeira, a granulometria e a relação água/cimento.

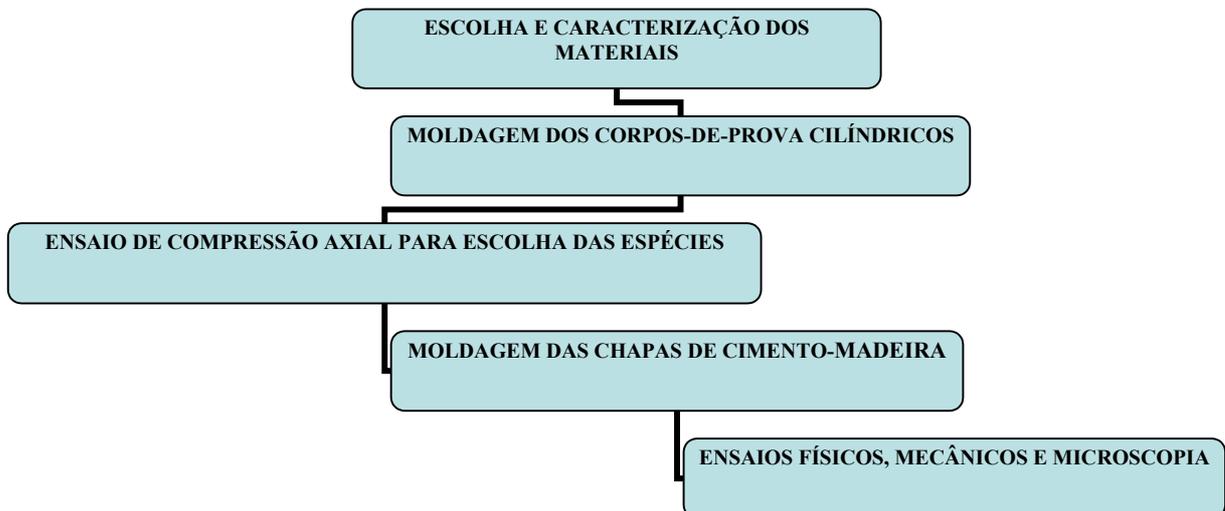


FIGURA 3.1 – Fluxograma do planejamento experimental

A matriz selecionada foi o cimento de alta resistência inicial CP V ARI, e a escolha dos resíduos recaíram sobre dicotiledôneas, de uso corrente na região, resultante do processamento mecânico da madeira (maravalhas do aplanamento) pela indústria madeireira, das espécies *Symphonia globulifera* L. (Anani), *Dinizia excelsa* Ducke (Angelin), *Cedrela odorata* L. (Cedro), *Hymenaea courbaril* L. (Jatobá), *Vochysia máxima* Ducke (Quaruba) e *Couratari oblongifolia* Ducke et R. Knuth (Tauari), caracterizados no item (3.3.1.2).

A pesquisa foi realizada conforme as etapas a seguir:

- a) Moldagem de corpos de prova cilíndricos;
- b) Moldagem de chapas de cimento-madeira;
- c) apresentação e discussão dos resultados.

Os corpos-de-prova cilíndricos, cuja produção se encontra descrita no item (3.3.2) foram empregados em ensaios mecânicos de compressão axial, descrito no mesmo item, para escolha das espécies de melhor desempenho á compressão. Dos corpos-de-prova das chapas, moldadas de acordo com o item (3.3.3) foram realizados ensaios físicos e mecânicos, descritos no item (3.3.3.1). Também foram realizadas análises micro-estrutural e análise por difração de raios-X, de amostras das chapas para caracterizar a interface fibra-matriz conforme descrito no item (3.3.4), do pó que se obteve do lixamento da superfície das chapas.

Os resultados dos ensaios foram comparados com as características físicas e mecânicas de aglomerados convencionais e das chapas de cimento-madeira industrializadas.

## **3.2 Materiais**

### **3.2.1 Cimento**

Utilizou-se o cimento Portland CP V-ARI PLUS (cimento de alta resistência inicial) NBR 5733/1991. Sua escolha deveu-se as suas elevadas resistências iniciais, que favorece a redução do tempo de manipulação de elementos pré-moldados, sendo o mesmo utilizado na indústria de painéis, tendo sido comprovado seu uso nas pesquisas de Batista (2002); Beraldo et al. (2002); Campos (1999); Lee & HSE (1999); Latorraca (2000); Moslemi & Pfister (1987); Zucco (1999) e Beraldo et al. (1996).

Após o recebimento, os sacos foram lacrados com plástico para evitar absorção de umidade, evitando a hidratação do cimento e mantendo suas características originais.

### 3.2.2 Resíduos de madeira

Os resíduos de madeira, de seis dicotiledôneas Figura 3.2, foram coletados em uma indústria de móveis na cidade de Ananindeua-PA (Angelim, Cedro, Jatobá e Tauarí) e em serraria na cidade de Abaetetuba-PA (Anani e Quaruba), apresentados na Tabela 3.1. Após a homogeneização de cada resíduo, os mesmos foram acondicionados em sacos plásticos e armazenados no laboratório de Engenharia Civil, até sua utilização, nos ensaios descritos a seguir, com a finalidade de avaliar a potencialidade de cada espécie como agregado, para chapas de cimento-madeira.



FIGURA 3.2 – Resíduos de Madeira

Utilizou-se também uma amostra composta da mistura em partes iguais das seis espécies de resíduos coletados, que tiveram o mesmo tratamento. Os resíduos foram identificados no Laboratório de Tecnologia de Produtos Florestais, da Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA.

TABELA 3.1- Relação das espécies coletadas

Espécie	Família	Nome vulgar
<i>Symphonia globulifera</i> L.	Clusiaceae	ANANI
<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	Leguminosaea Mimosoidae	ANGELIM
<i>Cedrela odorata</i> L.	Meliaceae	CEDRO
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Caesalpinaceaea	JATOBÁ
<i>Vochysia máxima</i> Ducke	Vochysiaceae	QUARUBA
<i>Couratari oblongifolia</i> Ducke et R. Knuth	lecythidaceae	TAUARÍ

### 3.2.3 Água

Utilizou-se água potável destilada em todo o processo, com objetivo de eliminar qualquer influência de substâncias presentes na água da rede pública, nos resultados dos ensaios.

### 3.2.4 Aditivos químicos

Os aditivos utilizados foram os aceleradores de pega, com o objetivo de reduzir o tempo total de pega e endurecimento da mistura cimento-madeira-água. O cloreto de cálcio e o sulfato de alumínio comercial (utilizado para limpeza de piscinas), foram testados por apresentarem custo relativamente baixo comparado com outros aditivos e pelo seu bom desempenho em pesquisas realizadas por (ZHENG TIAN & MOSLEMI 1985; TEIXEIRA & GUIMARÃES 1989; ZUCCO 1999; LATORRACA & IWAKIRI 2001; BERALDO et al. 2002).

## 3.3 Métodos

Na Figura 3.3 pode-se observar o fluxograma da parte experimental.

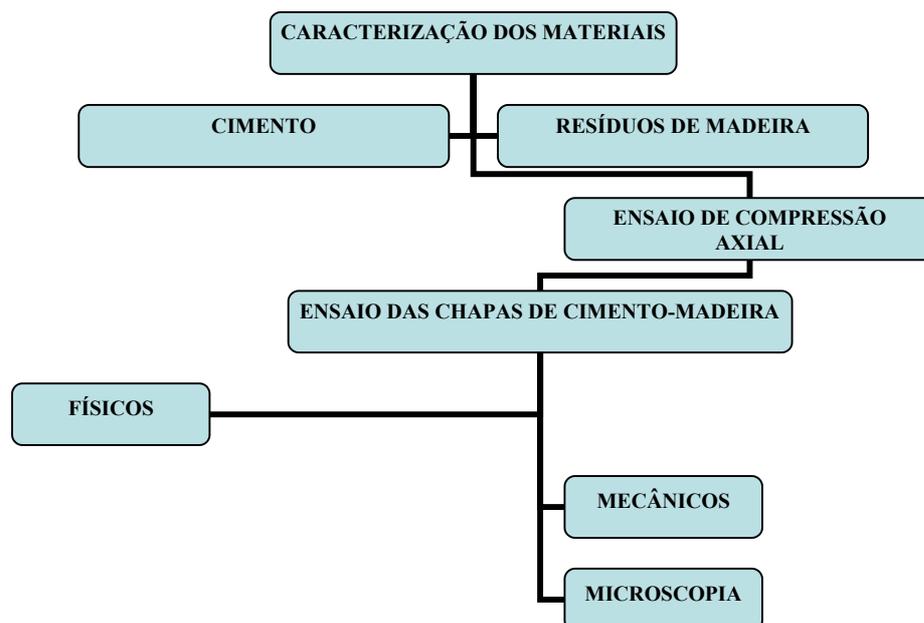


Figura 3.3 Fluxograma da parte experimental

A pesquisa realizou-se em três etapas a seguir:

- a) Caracterização dos materiais (cimento e resíduos de madeira), por meio de ensaios físicos e mecânicos;
- b) Verificação da compatibilidade dos resíduos por meio da medida de resistência à compressão axial em corpos-de-prova cilíndricos de (5x10)cm para escolha das espécies de melhor desempenho, para moldagem das chapas;
- c) Moldagem de chapas de cimento-madeira, com as três espécies de melhor desempenho nos ensaios de compressão axial, e sua mistura, para avaliação das propriedades físicas (massa específica, teor de umidade, absorção de água e inchamento) e mecânicas (módulo de elasticidade e ruptura à flexão, tração perpendicular à superfície da chapa e compressão paralela à superfície).

### 3.3.1 Caracterização dos materiais

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará - LEC.

#### 3.3.1.1 Cimento

As propriedades do cimento utilizado estão mostradas na Tabela 3.2, e foram fornecidas pelo fabricante.

TABELA 3.2 – Propriedades do cimento Portland de Alta Resistência Inicial CP V-ARI

Ensaio Químicos				
Ensaio	NBR N°	Unidade	Resultados	Especificação Norma NBR 5733/91
Perda ao Fogo - PF	5743/89	%	3,21	≤ 4,5
Óxido de Magnésio - MgO	9203/85	%	2,88	≤ 6,5
Anidro Sulfúrico – SO <sub>3</sub>	5745/89	%	3,60	≤ 3,5
Resíduo insolúvel – RI	8347/92	%	1,22	≤ 1,0
Equivalente alcalino em Na <sub>2</sub> O – (0,658 x K <sub>2</sub> O% + Na <sub>2</sub> O%)	-	%	0,88	Não aplicável
Oxido de Cálcio Livre – CaO (Livre)	7227/90	%	1,44	Não aplicável

Continuação da tabela 3.2

Ensaio					
Ensaio Físicos e Mecânicos					
Ensaio		NBR N°	Unidade	Resultados	Especificação Norma NBR 5733/91
Área Específica (Blaine)		7224/96	m <sup>2</sup> /Kg	4.950	≥ 3000
Massa específica		6474/84	g/cm <sup>3</sup>	3,11	Não aplicável
Densidade aparente		-	g/cm <sup>3</sup>	1,07	Não aplicável
Finura – Resíduo na peneira de 0,075mm (#200)		11579/91	%	0,42	≤ 6
Finura – Resíduo na peneira de 0,044mm (#325)		11579/91	%	2,62	Não aplicável
Água da pasta de consistência normal		11580/91	mim	31,1	Não aplicável
Início de pega		11581/91	mim	133	≥ 60
Fim de pega		11581/91	mim	201	≤ 720
Expansibilidade de Lê Chatelier – a Quente		11582/91	mm	0	≤ 5,0
Resistência à Compressão					
Idade (dias)	Mím	Máx	Média	Desvio	Especificação Norma NBR – 5733/91
1	22,1	30,1	26,1	2,08	≥14,0
3	31,6	37,6	34,8	1,46	≥24,0
7	34,1	41,4	38,3	1,69	≥34,0
28	42,7	50,4	45,0	1,34	Não aplicável

### 3.3.1.2 Resíduos de madeira

#### a) Análise química

Para realização das análises químicas, foram preparadas amostras de resíduos de cada espécie, passando na peneira de malha 0,60mm e da mistura das mesmas, para avaliação dos extrativos solúveis em água quente e fria, para determinação da porcentagem de produtos solúveis presentes na madeira. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Tecnologia de Produtos Florestais da Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, sob a responsabilidade do Prof. Dr. Sueo Numazawa. Os resultados podem ser observados na Tabela 3.3 e foram calculados de acordo com a Associação Brasileira de Celulose e Papel, Método 4/68, pela equação (3.1) a seguir:

$$\%E = \frac{P - P_1}{P} \quad (3.1)$$

Onde: E = porcentagem de produtos solúveis;

$P_1$  = peso da amostra após o ensaio em (g);

P = peso inicial da amostra absolutamente seca.

TABELA 3.3 – Extrativos totais solúveis em água

ESPÉCIES	% DE PRODUTOS SOLÚVEIS	
	Em água Fria	Em água Quente
Anani	6,88	4,99
Angelim	7,74	7,40
Cedro	3,85	3,54
Jatobá	11,15	7,06
Mistura	10,51	2,67
Quaruba	12,40	8,10
Tauari	8,59	3,20

#### b) Tratamento físico

Parte da amostra foi lavada de acordo com Beraldo et al. (1996), por um período de duas horas em água à 80°C na concentração 100g/litro de água, e posta a secar ao ar livre.

Optou-se por este tratamento, por apresentar baixo custo e por apresentar possibilidades de eliminar parte dos extrativos solúveis em água, sem uso de substâncias químicas. Verificou-se não haver padronização do tratamento na literatura. Este tratamento também foi utilizado por (BATISTA 2002; BERALDO & CARVALHO 2004; OKINO et al. 2004; PIMENTEL 2000; RAMÍREZ & FREIRE 1996; ZUCCO 1999).

#### c) Análise granulométrica dos resíduos de madeira

A análise granulométrica do resíduo foi realizada de acordo com a norma NBR 7217/1987 (Agregados: Determinação da composição granulométrica), através do peneiramento em equipamento agitador mecânico de peneiras, Figura 3.4.



FIGURA 3.4 – Agitador de peneiras

As peneiras utilizadas foram às apresentadas na Tabela A1 do Apêndice “A”, pág. 103. Determinou-se o diâmetro máximo das partículas (peneira que conteve um percentual retido acumulado igual ou imediatamente inferior a 5% em massa), bem como o módulo de finura (soma das porcentagens retidas acumuladas nas peneiras da série normal, dividida por 100).

No Apêndice “A”, pág. 103 a 108, são apresentados os resultados da análise granulométrica dos resíduos das seis espécies, assim como da mistura, na condição natural e lavada. As curvas de distribuição apresentadas abaixo, Figuras 3.5 e 3.6 mostram a seis espécies ao natural e lavadas.

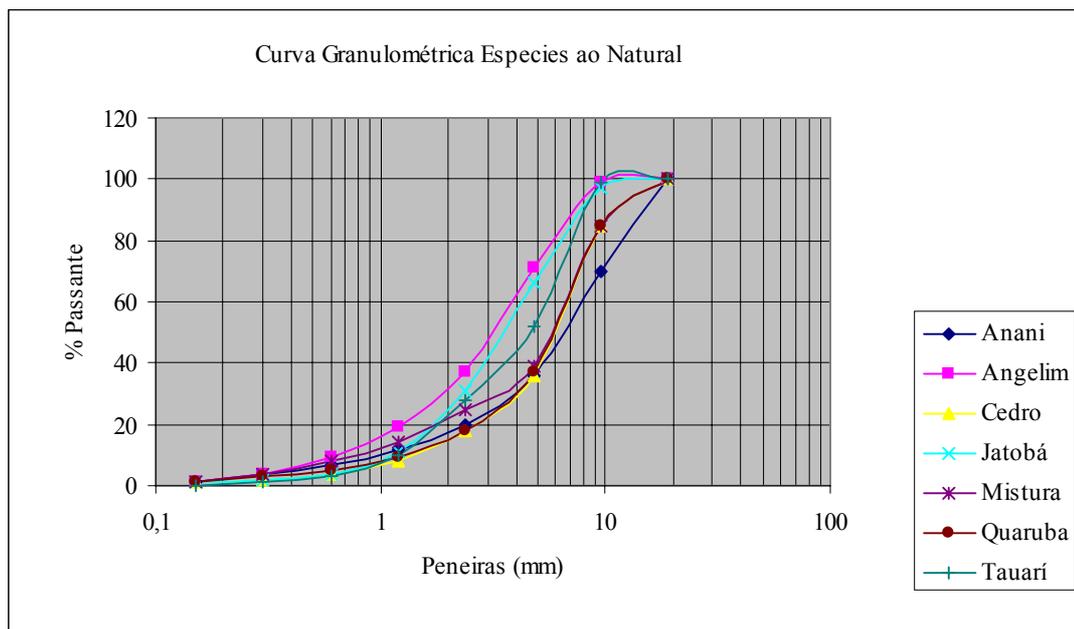


FIGURA 3.5 – Curva granulométrica de todas as espécies ao natural

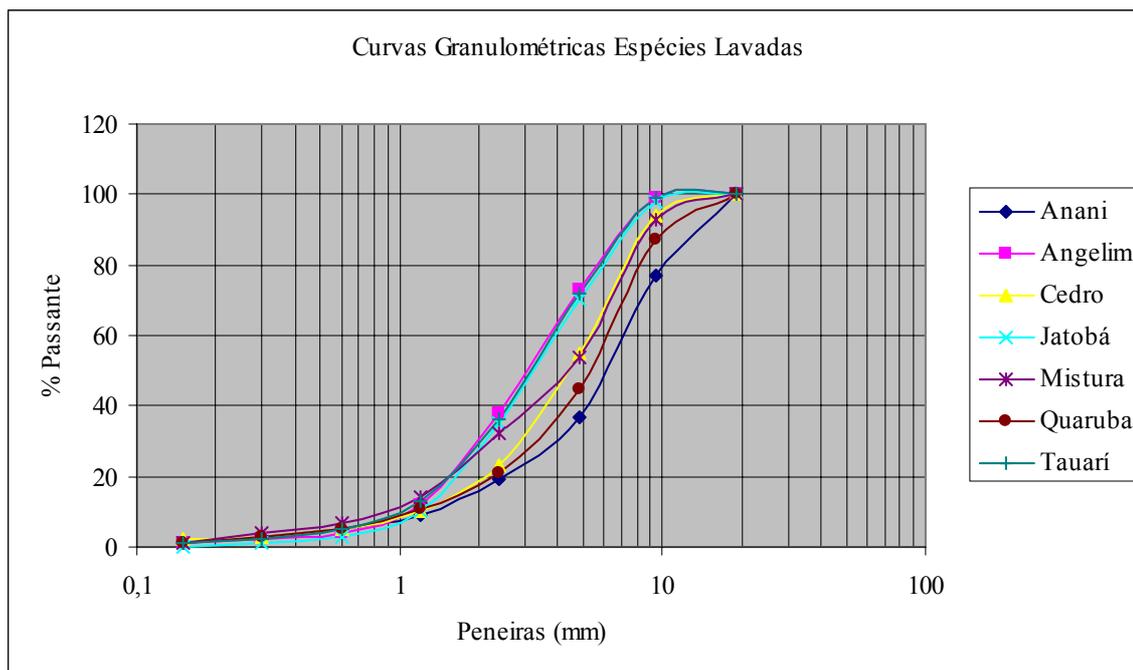


FIGURA 3.6 - Curva granulométrica de todas as espécies lavadas

Verificou-se de acordo com a NBR 7217/1987 que a dimensão máxima característica (diâmetro máximo) foi de 19mm para todas as espécies e o módulo de finura classificou o resíduo como muito grosso.

#### d) Determinação da massa unitária na condição solto

Na execução do ensaio tomou-se como base à norma NBR 7251/1982 (Agregado em estado solto: Determinação da massa unitária).

Na Tabela 3.4 encontra-se o valor médio da massa unitária no estado solto para o material na condição natural.

TABELA 3.4 – Massa unitária do resíduo de madeira estado solto, média de três determinações.

Espécie	Natural (Kg/dm <sup>3</sup> )	Lavado (Kg/dm <sup>3</sup> )
Anani	0,086	0,083
Angelim	0,081	0,079
Cedro	0,047	0,046
Jatobá	0,074	0,073
Mistura	0,063	0,062
Quaruba	0,072	0,071
Tauari	0,095	0,094

## e) Determinação da massa específica

O método empregado foi o utilizado por Grandi (1995) com base na NBR 9776/1987 (Agregados: Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman), que consiste na introdução de uma quantidade de fibra anidra, de massa conhecida (75 g de pó de serra), no interior do frasco de Chapman, contendo um volume de álcool (350 cm<sup>3</sup>). Mede-se o volume de álcool deslocado e pela Equação 3.2 abaixo, calcula-se a massa específica aparente da fibra.

$$\gamma = \frac{M_{FIBRA}}{L - V_{ALCOOL}} \quad (3.2)$$

Onde:  $\gamma$  = massa específica aparente da fibra, na umidade de estocagem (g/cm<sup>3</sup>);

$M_{FIBRA}$  = massa de fibra introduzida no frasco de Chapman (g);

$L$  = leitura do frasco (volume do álcool + fibra, em cm<sup>3</sup>);

$V_{ALCOOL}$  = Volume do álcool no interior do frasco de Chapman, antes da introdução das fibras, em cm<sup>3</sup>.

Para os resíduos de madeira, utilizou-se um volume de álcool de 375cm<sup>3</sup> e 30 gramas de resíduos de madeira. A quantidade de resíduo foi menor que o utilizado por Grandi (1995), em função da capacidade do frasco não comportar o volume das fibras de madeira.

A massa específica apresentada, Tabela 3.5 a seguir, (média de três determinações) foi realizada segundo a metodologia proposta por (GRANDI, 1995).

TABELA 3.5 – Massa específica do resíduo de madeira, média de três determinações.

Espécie	Natural (g/cm <sup>3</sup> )	Lavada (g/cm <sup>3</sup> )
Anani	1,15	1,01
Angelim	1,11	1,07
Cedro	1,08	0,85
Jatobá	1,22	1,19
Mistura seis espécies	1,18	1,03
Quaruba	1,00	0,96
Tuari	1,10	1,10
Mistura Cedro+Jatobá+Quaruba	1,10	1,00

#### f) Determinação do teor de umidade

Baseado na NBR 9939/1987 (Agregados: Determinação do teor de umidade total, por secagem em agregado graúdo), foi determinado o teor de umidade do resíduo de madeira seco ao ar livre. A amostra de cada espécie foi pesada e levada à estufa em temperatura regulada para 105°C, durante 24 horas. Após este período, foi novamente pesada, sendo que o teor de umidade foi calculado utilizando-se a Equação 3.3 a seguir:

$$h = \frac{(M_i - M_f) \times 100}{M_f} \quad (3.3)$$

Onde: h = teor de umidade, em porcentagem;

$M_i$  = massa inicial da amostra (g);

$M_f$  = massa final da amostra seca(g).

Na Tabela 3.6 pode ser verificado o teor de umidade do resíduo na condição seco ao ar.

TABELA 3.6 – Teor de umidade do resíduo de madeira média de três repetições

<b>Espécie</b>	<b>Teor de umidade %</b>
Anani	14,28
Angelim	14,18
Cedro	14,89
Jatobá	11,23
Mistura 6 espécies	13,65
Quaruba	14,73
Tauari	12,58
Mistura 3 espécies	13,62

### 3.3.2 Verificação da compatibilidade dos resíduos para escolha das espécies

Para avaliação da aptidão ao uso das espécies e influência de aditivos químicos, são empregados alguns métodos. Destes se destacam o da evolução da temperatura de hidratação da mistura de cimento com o agregado, chamado de termometria, e a resistência à compressão axial de corpos-de-prova cilíndricos.

O método da termometria avalia a aptidão de materiais ligno-celulósicos, pela mensuração da evolução da temperatura de hidratação da pasta de cimento-madeira, durante um certo período de tempo, utilizando uma relação de 1200g de cimento para 90g de madeira

seca, ou seja, 13,33: 1, servindo de parâmetro, esta evolução, para determinação do índice de inibição da pega da pasta de cimento.

Segundo Latorraca (2000) a relação 13,33: 1 não reflete a realidade na fase de fabricação de chapas pela indústria, mas apresenta um resultado confiável para seleção de espécies com potencial de uso.

Nesta pesquisa foi realizado o ensaio de resistência à compressão axial, para avaliação da aptidão das espécies. Segundo Lee & Short (1989), este procedimento foi utilizado por vários pesquisadores. O método consiste na confecção de corpos-de-prova cilíndricos com 100mm de altura por 50mm de diâmetro, moldados na proporção 3: 1: 0,5 (cimento, madeira e água, ou seja, um traço em massa de 1: 0,333: 0,5). Esta relação foi utilizada nas pesquisas de (BATISTA 2002; MOSLEMI & PFISTER 1987; GEIMER et. al. 1996; WOLFE & GJINOLLI 1999; CAMPOS 1999; LATORRACA 2000; BERALDO 2002).

A quantidade de água foi determinada utilizando-se a equação (3.4) utilizada por Wolfe & Gjinolli (1999) abaixo:

$$\text{Água} = 0,25MC + 0,5MS \quad (3.4)$$

Onde: MC = massa de cimento (kg)

MS = Massa de madeira seca (kg)

Sendo que a quantidade de água foi corrigida em 44%, para que houvesse aglutinação entre os materiais, ficando a relação água/cimento igual a 0,6 e proporcionando uma mistura com aspecto de farofa úmida.

Para obtenção dos referidos corpos-de-prova moldou-se, uma série de quatro amostras para cada espécie de resíduo, para avaliação do fator Tratamento (Natural e Lavado) e fator Aditivo (Cloreto de Cálcio 3%, Sulfato de Alumínio 3% e Cloreto de Cálcio 5%), conforme Tabela 3.7 a seguir.

Inicialmente verificou-se, a influência da lavagem sobre cada espécie. A seguir o desempenho dos aditivos aceleradores de pega.

Utilizou-se como base, para moldagem dos corpos-de-prova, com devidas adaptações, a norma NBR 7215/1996 (Cimento Portland: Determinação da resistência à compressão).

Tabela 3.7 - Quantidade de corpos-de-prova para ensaio de resistência à compressão

Espécie	Natural	Lavado	Sulfato 3%	Cloreto 3%	Cloreto 5%
Anani	4	4	4	4	4
Angelim	4	4	4	4	4
Cedro	4	4	4	4	4
Jatobá	4	4	4	4	4
Quaruba	4	4	4	4	4
Tuari	4	4	4	4	4
Mistura	4	4	4	4	4
Soma	28	28	28	28	28
total			140		

A mistura dos materiais após a pesagem foi realizada em misturador mecânico de duas velocidades, Figura 3.7 com cuba de aço de capacidade 20 litros. Os procedimentos realizados são a seguir descritos:



FIGURA 3.7 - Misturador mecânico

a) Foram adicionados inicialmente os resíduos de madeira e o cimento com o misturador parado. A seguir com o misturador em movimento, e em velocidade baixa foi adicionada a água;

b) Após um minuto desligou-se o misturador e retirou-se, com auxílio de uma espátula, a mistura aderida à parede da cuba.

c) Em seguida, ligou-se o misturador e a mistura foi mantida na velocidade alta por mais um minuto.

A moldagem dos corpos-de-prova foi realizada imediatamente, em formas metálicas untadas com óleo mineral. A colocação do material na forma deu-se em quatro camadas de alturas iguais que foram adensadas cada uma com 30 golpes de uma espátula de aço de 30mm de largura. Os CP's tiveram a face superior protegida por placa de vidro.

Não foi possível a utilização de soquete padrão, substituindo-se o mesmo pela espátula, pois o seu uso não aglutinava as camadas adensadas, ocorrendo na desmoldagem, a separação das mesmas. Este procedimento também foi utilizado por Pimentel (2000).

Os corpos-de-prova foram desmoldados com 24 horas e acondicionados em sacos plásticos por sete dias, e após este período a cura dava-se ao ar com temperatura e umidade do ambiente do laboratório.

Não foi possível manter os CP's imersos em água saturada de cal, devido às características higroscópicas do resíduo.

Os corpos-de-prova foram ensaiados com idade de 28 dias, e a resistência à compressão de cada CP, foi calculada de acordo com a NBR 7215/1996, dividindo-se a carga de ruptura pela área da seção transversal considerada constante. O desvio relativo máximo calculado foi inferior a 6%.

Os resultados dos ensaios detalhados encontram-se no apêndice B, e foram analisados estatisticamente através da análise de variância – ANOVA, Apêndices C. As médias foram comparadas pelo teste Fisher-Snedecor ao nível de significância de 5%, todas as vezes que a hipótese da nulidade foi rejeitada.

Os dados dos ensaios de resistência à compressão axial foram coletados de uma máquina universal de ensaios EMIC 2000 KN, acoplada a um micro computador, Figura 3.6, com velocidade de carregamento  $(0,25 \pm 0,05)$  MPa/s.



FIGURA 3.8 - Prensa EMIC 2000KN

### 3.3.3 Moldagem de chapas de cimento-madeira

Baseados nos resultados dos ensaios de compressão axial de corpos-de-prova cilíndricos foram escolhidas: três espécies botânicas, o tipo de tratamento e aditivo a serem empregados na moldagem das chapas.

As espécies selecionadas foram o Cedro, Jatobá e Quaruba, por apresentaram os melhores resultados nos ensaios de compressão axial, sendo consideradas as de menor índice de inibição. Os resíduos de madeira foram lavados em água à 80°C por duas horas, e o aditivo utilizado foi o CaCl<sub>2</sub> a 5% em relação à massa de cimento.

Para manufatura das chapas os materiais foram calculados experimentalmente ( Tabela 3.8), de acordo com a relação cimento/madeira 3:1, (em massa) de forma a proporcionar uma massa específica igual para todas as chapas. A quantidade de material foi sugerida pelos ensaios preliminares, realizados sem controle de adensamento, de modo a proporcionar um colchão com altura superior a altura final da chapa moldada.

TABELA 3.8 – Quantidade de material para confecção de uma chapa

Cimento (g)	Resíduo de madeira (g)	Água (g)	Aditivo (g)
3.000	1.000	1650	150

As chapas das três espécies selecionadas, mais a mistura delas, foram confeccionadas, utilizando-se moldes metálicos Figura 3.9, para produção de cinco unidades simultaneamente, compostos de duas chapas de aço de dimensões (58,60 X 43,00)cm e espessura de uma polegada, perfuradas na extremidade para passagem de parafusos com porcas e arruelas, com a finalidade de manter a espessura das chapas, sendo uma servindo de fundo e a outra de tampa, e quatro chapas divisórias com as mesmas dimensões e furos e espessura ¼". Foram utilizadas barras de aço de 16mm no sentido longitudinal, para controle da espessura final.



FIGURA 3.9 – Molde metálico para manufatura de chapas cimento-madeira

Devidamente pesados, os materiais foram misturados na seqüência madeira, cimento e aditivo diluído em água adicionado com o misturador já em movimento, funcionando em baixa velocidade por um período de 1 minuto e em alta por um período de mais um minuto.

A mistura para cada chapa foi produzida uma de cada vez. A seguir a mesma era distribuída sobre o molde untado com óleo mineral, que já continha as barras de controle de espessura e uma moldura de madeira sobre os mesmos, (Figura 3.10), para formação do colchão de cimento-madeira.



FIGURA 3.10 - Formação do colchão de cimento-madeira

Retirada a moldura de madeira, sobrepunha-se a chapa separadora de  $\frac{1}{4}$ ," e a tampa do molde e aplicava-se pressão à frio de  $40 \text{ Kg/cm}^2$ , até que o colchão atingisse a espessura desejada. Repetia-se o processo até a ultima chapa, mantinha-se a pressão e fixavam-se os parafusos dispostos na extremidade para manutenção da espessura das chapas (Figura 3.11). A pressão de  $40 \text{ kg/cm}^2$ , é a pressão utilizada para fabricação de chapas aglomeradas e foi também utilizada por (ELEOTÉRIO 2000; LATORRACA 2000; IWAKIRI et al. 2001; MENDES et al. 2004; OKINO et al. 2004).



FIGURA 3.11 – Aplicação de pressão para fixação dos parafusos no molde

Após a fixação dos parafusos, as chapas ficavam prensadas no molde por 24 horas, mantidas em condições naturais de umidade e temperatura. Decorridas 24 horas, a forma era aberta e as chapas eram acondicionadas em câmara úmida em temperatura  $20^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}$  e a  $65\pm 5\%$  de umidade até 28 dias. Realizada a cura em câmara úmida, quatro chapas de cada espécie sendo duas conforme a distribuição “A” e duas a distribuição “B”, foram encaminhadas para a extração dos corpos-de-prova, de acordo com a distribuição da (Figura 3.12) sugerida pela EN 326-1/2000. O sentido da maior dimensão corresponde à direção longitudinal.

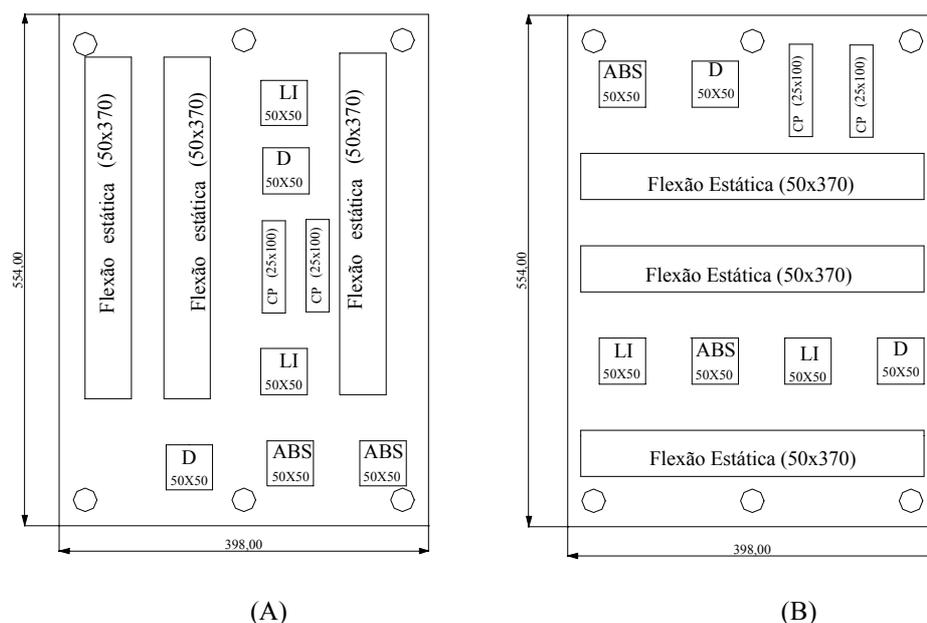


FIGURA 3.12 - Distribuição para extração dos corpos de prova nas chapas de cimento-madeira em (mm)  
ABS (absorção), CP (compressão paralela), D (densidade) e LI (ligação interna).

Os corpos-de-prova foram obtidos de cada chapa, utilizando-se de serra circular (Figura 3.13), e após sua extração os mesmos foram lixados para correção das dimensões.



FIGURA 3.13 - Corte dos corpos-de-prova em serra circular

### 3.3.3.1 Ensaios realizados nas chapas de cimento-madeira

Para determinação das características físicas e mecânicas das chapas de cimento-madeira, foram realizados ensaios de acordo com as normas Européias (EN 310, EN 317, EN 319, EN 322, EN 323) e ASTM D1037, pela inexistência de normas brasileiras específicas para chapas de cimento-madeira. Os ensaios executados foram os a seguir descritos:

a) Ensaio para determinação da densidade EN 323 (2000).

A determinação da densidade baseada na norma acima especifica corpos-de-prova de dimensões  $(50 \times 50) \pm 1$  mm de aresta condicionados, até constância de massa, numa atmosfera com umidade relativa de  $(65 \pm 5) \%$  e uma temperatura de  $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ . Determinou-se a espessura no ponto de intersecção das diagonais, além de duas medidas paralelas às bordas e a massa com precisão de 0,01g Figura 3.14. A densidade foi determinada em oito corpos-de-prova a partir da Equação 3.5:

$$\rho = \frac{m \times 10^6}{b_1 \times b_2 \times b_3} \quad (3.5)$$

Onde:  $\rho$  = densidade ( $\text{kg/m}^3$ );

m = massa (g);

$b_1$  e  $b_2$  = medidas ortogonais dos lados (mm);

t = espessura (mm).

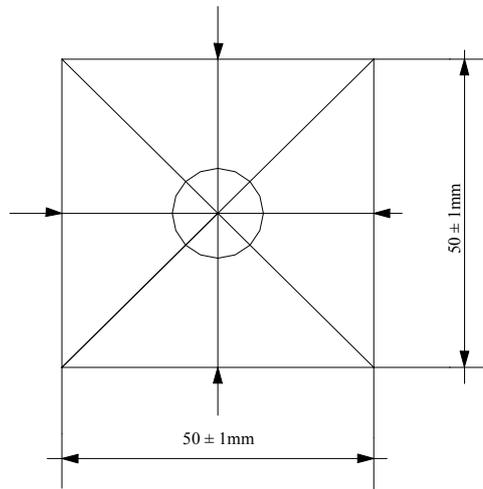


FIGURA 3.14 – Dimensões do corpo-de-prova para o ensaio de densidade (EN323, 2000).

b) Ensaio para determinação do teor de umidade EN 322 (2000)

O objetivo do ensaio é a determinação da quantidade de água contida em um corpo-de-prova no momento em que foi retirado. A quantidade de água contida é eliminada por secagem em estufa até massa constante à temperatura de  $(103 \pm 2) ^\circ\text{C}$ . Os corpos-de-prova devem ter massa mínima de 20g. A Equação 3.6 foi utilizada para o cálculo do teor de umidade em oito corpos-de-prova.

$$U = \frac{m_i - m_s}{m_s} \times 100 \quad (3.6)$$

Onde: U = teor de umidade da chapa (%)

$m_i$  = massa inicial (g)

$m_s$  = massa final [seca] (g)

c) Ensaio de inchamento em espessura EN 317 (1993)

O ensaio de inchamento em espessura foi realizado por imersão de oito corpos-de-prova em água destilada, por 24 horas. Os corpos-de-prova tinham dimensões de  $50 \pm 1$  mm de aresta e foi medida a sua espessura, na intersecção das diagonais, antes e após sua imersão em água Figura 3.15. O inchamento em espessura é calculado pela Equação 3.7 a seguir:

$$G_t = \frac{t_f - t_i}{t_i} \times 100 \quad (3.7)$$

Onde:  $G_t$  = inchamento (%)  
 $t_i$  = espessura inicial (mm)  
 $t_f$  = espessura final (mm)

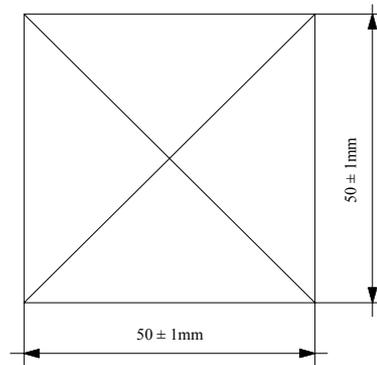


FIGURA 3.15 – Dimensões do corpo-de-prova para ensaios de inchamento em espessura e absorção de água

d) Ensaio para determinação da porcentagem de absorção EN 317 (1993)

Para determinação da absorção, os corpos-de-prova são imersos em água pelo período de 24 horas. Suas dimensões são de  $50 \pm 1$  mm de aresta. Para este ensaio foi medida a massa dos mesmos, antes e após a imersão em água. A absorção foi determinada pela Equação 3.8 em oito corpos-de-prova.

$$A_m = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (3.8)$$

Onde:  $A_m$  = absorção (%)  
 $m_1$  = massa inicial (g)  
 $m_2$  = massa final (g)

e) Ensaio de flexão estática EN 310 (2000)

O ensaio de flexão estática tem por objetivo a determinação do módulo de elasticidade e do módulo de ruptura. Os corpos-de-prova apresentam um comprimento de 20 vezes a sua espessura nominal adicionado de 50 mm. Neste trabalho foram utilizadas doze amostras de cada espécie, com 16mm de espessura, ou seja, foram confeccionados corpos-de-prova com 370mm de comprimento e  $50 \pm 1$  mm de largura. As medidas são tomadas na

metade do comprimento, a espessura na intersecção das diagonais. O corpo-de-prova é apoiado em suportes com distância entre eixos de 20 vezes a espessura nominal conforme esquema da Figura 3.16

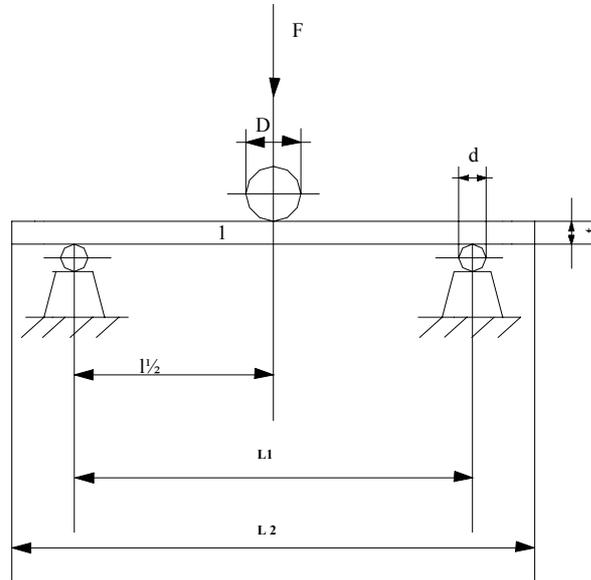


FIGURA 3.16 – Esquema para o ensaio de flexão

Fonte: EN310 (2000)

$l$  = corpo-de-prova

$F$  = carga aplicada

$t$  = espessura do corpo-de-prova

$D$  = diâmetro do cutelo

$d$  = diâmetro do suporte

$L1 = 20 t$

$L2 = L1 + 50\text{mm}$

dimensões em mm

O módulo de elasticidade (MOE) foi calculado, utilizando-se a região linear da curva de leituras carga x deformação, através da Equação 3.9:

$$MOE = \frac{l_1^3 x (F_2 - F_1)}{4x b x t^3 x (a_2 - a_1)} \quad (3,9)$$

Onde: MOE = módulo de elasticidade (MPa);

$a_1$  e  $a_2$  = deflexão na metade do vão (m);

$l_1$  = distância entre os suportes (m)

$b$  = largura do corpo-de-prova (m);

$t$  = espessura do corpo-de-prova (m);

$F_2 - F_1$  = incremento de carga ( $F_1 \pm 10\%$  e  $F_2 \pm 40\%$  da carga de ruptura) (N).

Para o cálculo do módulo de ruptura (MOR), utilizou-se do mesmo teste de flexão usado para o cálculo do MOE, porém para este ensaio, é considerada a carga máxima. O módulo de ruptura foi calculado a partir da Equação 3.10:

$$MOR = \frac{3xF_{\max}xl_1}{2xbxt^2} \quad (3.10)$$

Onde: MOR = módulo de ruptura (MPa);

$l_1$  = distância entre os suportes (m);

$b$  = largura do corpo-de-prova (m);

$t$  = espessura do corpo-de-prova (m);

$F_{\max}$  = carga de ruptura (N).

Os ensaios de flexão foram realizados em uma máquina universal de ensaios, marca EMIC de capacidade 5KN acoplada ao micro computador, Figura 3.17.

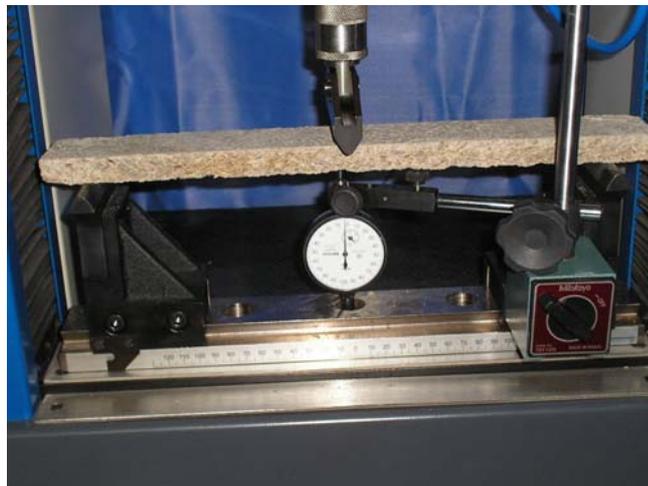


Figura 3.17 – Dispositivo para o ensaio de flexão estática

f) Ensaio de tração perpendicular à superfície da chapa (ligação interna) EN 319 (1993)

O ensaio de tração perpendicular ao plano da chapa ou adesão interna de foi realizado em oito amostras, segundo a norma EN 319 (1993), que prescreve o uso de corpos-de-prova quadrados, com  $50 \pm 1$ mm de aresta. Nas duas faces do corpo-de-prova são colados suportes de metal, Figura 3.18, tracionados posteriormente em direções opostas, de forma que o mesmo se rompa com o objetivo de definir a adesão interna do

corpo-de-prova. Os adesivos à base de epóxy são os recomendados para os ensaios de tração.

A ligação interna foi calculada segundo a Equação 3.11 a seguir:

$$AI = \frac{F_{\max}}{axb} \quad (3.11)$$

Onde: AI = adesão interna;

$F_{\max}$  = carga máxima (N);

a = comprimento do corpo-de-prova (m);

b = largura do corpo-de-prova (m).



FIGURA 3.18 - Dispositivo para o ensaio de tração perpendicular

Para este ensaio foi também utilizada a máquina universal de ensaios EMIC, usada para o ensaio de flexão.

g) Ensaio de compressão paralela à superfície da chapa ASTM D-1037 (1996)

Para realização deste ensaio foi realizado de acordo com a norma ASTM D 1037 – 96, que prevê a utilização de corpos-de-prova com dimensões de (100X25) mm, com a espessura da chapa. O ensaio foi realizado em oito amostras, utilizando-se a prensa EMIC 2000KN. A compressão paralela é calculada pela Equação 3.12 a seguir:

$$CP = \frac{P}{AxB} \quad (3.12)$$

Onde: CP = compressão paralela

P = Carga de ruptura (N)

A =  $25 \pm 0,2$  mm

B = Espessura da chapa  $\pm 0,02$  mm

Os resultados dos ensaios (Anexo D) foram analisados estatisticamente através da análise de variância – ANOVA (Anexo F). As médias foram comparadas pelo teste Fisher-Snedecor ao nível de significância de 5%, todas as vezes que a hipótese da nulidade foi rejeitada.

### 3.3.4 Análise por difração de Raios-X e análise microestrutural

Com o objetivo de correlacionar o comportamento da zona de transição com as propriedades mecânicas do compósito, foi realizado ensaio de microscopia eletrônica de varredura (MEV), com imagens de elétrons secundários, espectrometria por difusão de energia (EDS), com imagens de elétrons retroespalhados e a caracterização de amostras por difração de raios-X, para identificação de fases do cimento hidratado.

As análises foram realizadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura – LABMEV do Centro de Geociências da UFPA. O equipamento utilizado foi um MEV modelo LEO-1430, sendo as amostras de fragmentos dos compósitos analisadas metalizadas com ouro. As condições de análises foram: corrente do feixe de elétrons =  $90 \mu\text{A}$ , voltagem de aceleração constante = 10 kv, distância de trabalho = 12 mm, tipo de imagens = elétrons secundários e elétrons retroespalhados.

Para as análises por difração de raios-x (Método do Pó), foi utilizando difratômetro da marca PHILIPS, modelo PW 3710, equipado com ânodo de cobre ( $\lambda_{\text{CuK}\alpha_1} = 1,54060 \text{ \AA}$ ), com monocromador de grafite e gerador de tensão e corrente ajustados para 45 kV e 40 mA, respectivamente. Os registros foram realizados no intervalo de exposição de  $5^\circ$  a  $65^\circ 2\theta$ , steps de  $0,02^\circ 2\theta$  com tempo de 0,4s, e tratados de modo digital com softwares do próprio equipamento (APD) e busca no banco de dados do PDF-ICDD (*Powder Diffraction File – International Centre for Diffraction Data*).

As amostras das chapas de Cedro, Jatobá, Mistura e Quaruba, colhidas da superfície dos compósitos foram pulverizadas em granulometria compatível para a análise, e eram montadas em lâminas de vidro, de modo a não obter orientação preferencial. Os ensaios foram

realizados no laboratório de raios-X, do departamento de Geoquímica e Petrologia, do centro de Geociências da UFPA.

## Capítulo 4

### Resultados e Discussão

#### 4.1 Verificação da compatibilidade dos resíduos para escolha das espécies

Na Figura 4.1 apresentamos de forma sintética, os resultados dos ensaios de compressão axial dos corpos-de-prova cilíndricos, (média de quatro amostras) rompidos aos vinte e oito dias, para verificação da influência do tratamento (lavagem em água quente) e uso de aditivo acelerador de pega. Os resultados detalhados encontram-se nas páginas 113 a 120 do Apêndice B.

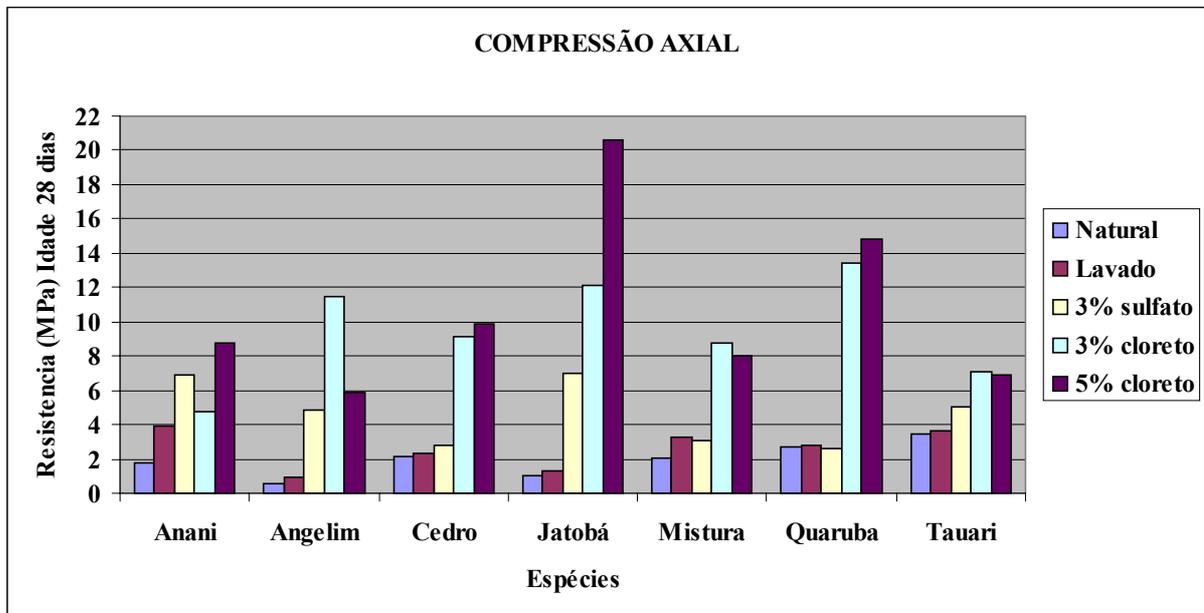


Figura 4.1 Resultados dos ensaios de Compressão Axial para escolha das espécies

Todos os resultados foram submetidos à análise estatística ANOVA, ao nível de 95% de probabilidade, para verificar diferenças estatísticas entre os mesmos. Os resultados das análises de variância são apresentados no Apêndice C, (páginas 121 a 131).

Através da Figura 4.1 podem ser observados os valores médios obtidos nos ensaios de resistência à compressão axial para cada espécie estudada. Nota-se que as espécies de um modo geral apresentaram baixa resistência quando utilizadas ao natural, refletindo estes valores o baixo índice de compatibilidade, demonstrando uma interferência acentuada de extrativos, que influenciam no processo de cura da pasta de cimento.

Somente as espécies Cedro, Quaruba, Tauari e a mistura, atingiram valores de resistência superiores a 2,0 MPa, utilizados como referência mínima no trabalho de ZUCCO (1999), o que era de se esperar em se tratando de dicotiledôneas.

O ambiente alcalino do cimento pode ter contribuído, para conversão parcial da hemicelulose e polímeros de açúcares, provocando problemas na hidratação, implicando em uma diminuição da resistência do compósito. Estas espécies, de um modo geral, apresentam incompatibilidade maior que as coníferas devido a maior quantidade de hemicelulose solúvel, que pode ser dissolvida em soluções alcalinas e degradadas em açúcares simples, interferindo no processo de hidratação do cimento, inviabilizando o uso destas espécies ao natural.

Dos ensaios realizados para determinação de extrativos solúveis em água fria e quente (Tabela 3.3, Capítulo 3, página 39) verificamos, que as espécies, Quaruba e Jatobá apresentaram os maiores índices de solubilidade. No entanto, a lavagem em água quente não proporcionou melhora substancial, nos resultados dos testes de compressão axial, induzindo a pensar que a concentração e quantidade das substâncias presentes nestas duas espécies, não exerceram efeito pronunciado sobre a hidratação da pasta de cimento.

#### **4.1.1 Efeito do tratamento lavagem dos resíduos**

A lavagem dos resíduos em água quente por duas horas apresentou efeito diferenciado nas espécies, colaborando de forma discreta nos resultados de algumas espécies, demonstrando a influência da presença de substâncias não solúveis em água fria e quente que interferem na hidratação da pasta de cimento.

O efeito da lavagem é variável sobre as espécies, e este associado à concentração de extrativos, fato verificado por Pimentel (2000). Há a necessidade do conhecimento das substâncias que compõem os extrativos, para melhor avaliação.

Para a espécie Anani houve uma influência considerável. Os resíduos de Cedro, Quaruba e Tauari apresentaram, a menor variação nos valores de resistência à compressão axial, evidenciando uma maior incompatibilidade. A análise estatística mostrou igualdade entre os tratamentos ao natural e lavado para estas espécies. Este fato pode ter relação com o maior teor de extrativos, como também a composição dos mesmos.

#### 4.1.2 Efeito da granulometria

Nas (Tabelas 2A a 8A, e Figuras 1A a 7A, do Apêndice A) páginas 107 a 112 observa-se à distribuição granulométrica dos resíduos de madeira. Os resíduos apresentaram dimensão máxima característica (DMC), igual a 19mm e módulo de finura variando de 4,60 a 5,88, e que segundo a NBR 7217/1987, caracteriza um agregado miúdo como muito grosso. A fração fina retida (para indústria, fração granulométrica abaixo da peneira de malha 0,60mm), é inferior a 10%, para todas as espécies. Esta fração tem influência significativa na resistência à compressão axial, desde que o efeito inibidor da partícula não seja acentuado, proporcionando resistências mais elevadas, provavelmente pelo melhor empacotamento da mistura fibra-matriz.

No processo de lavagem dos resíduos houve fragmentação para as partículas maiores, modificando discretamente a distribuição granulométrica da fração mais grossa. A fração fina sofreu pouca influência do tratamento lavagem. Isto pode ter acontecido pela manipulação do resíduo, e pela desagregação das fibras na água quente a 80°C.

Analisando as curvas granulométricas (Figuras 1A a 7A, Apêndice A, pág. 107 a 112), observa-se que tanto ao natural como lavada, as espécies apresentaram uma distribuição semelhante, ou seja, a influência da granulometria sobre a resistência a compressão axial se apresentou de forma homogênea para todas as espécies, ver Figuras 3.3 e 3.4 (Capítulo3, pág.39).

A princípio todas as granulometrias poderão ser usadas na fabricação de chapas de cimento-madeira, desde que a espécie não apresente alto índice de incompatibilidade com o cimento.

A influência da granulometria foi atestada na pesquisa de Zucco (1999), com relação a o tempo de hidratação da pasta de cimento, este foi maior para as granulometrias menores. Para o ensaio de compressão axial as granulometrias menores, tiveram melhor desempenho. Já na flexão o material de maior granulometria apresentou o melhor resultado provavelmente pelo maior comprimento das fibras.

### 4.1.3 Efeito dos aditivos aceleradores

A função dos aditivos aceleradores de pega é o rápido endurecimento da mistura impedindo que os extrativos solúveis na água de amassamento, que migram para a superfície da madeira formem uma camada impermeável em torno do grão de cimento.

Na Figura 4.1, podem ser observados os resultados para os ensaios de compressão axial do uso dos aditivos químicos cloreto de cálcio e sulfato de alumínio. Os aditivos foram testados inicialmente com a concentração de 3% de acordo com a metodologia apresentada. O desempenho de aditivo Sulfato de alumínio só foi superior na espécie Anani, para as demais houve superioridade do  $\text{CaCl}_2$ , que foi adotado para testes com 5% de teor.

A superioridade do  $\text{CaCl}_2$ , sobre o  $\text{Al}_2(\text{SO}_3)_4$ , foi também comprovada em pesquisa de Pimentel (2000), para fabricação de telhas onduladas à base de cimento Portland e resíduos de *Pinus caribaea* e de Zucco (1999) para fabricação de placas a base de casca de arroz.

A variação na concentração do Cloreto de cálcio de 3% para 5%, mostrou uma melhora substancial, apenas para as espécies Anani e Jatobá, ficando o seu efeito sobre as demais de forma discreta e para o Angelim, Mistura e Tauari esta concentração chegou a diminuir a resistência à compressão.

## 4.2 Características físicas e mecânicas das chapas de cimento-madeira

Nas Figuras 4.2 a 4.5, são apresentados os resultados das médias dos ensaios das características físicas e mecânicas das chapas de cimento-madeira das espécies Cedro, Jatobá, Quaruba e a mistura das mesmas. Os resultados detalhados encontram-se no Apêndice D, (páginas 132 a 137) e a análise de variância é apresentada no Apêndice F (páginas 142 a 145).

### 4.2.1 Densidade

Na Figura 4.2 são apresentados os resultados médios da determinação da densidade das chapas para cada espécie. Os ensaios foram realizados com as condições de estocagem em câmara úmida. Os resultados detalhados encontram-se no Apêndice D, (páginas 132 a 133) e a análise estatística no Apêndice F (página 142).

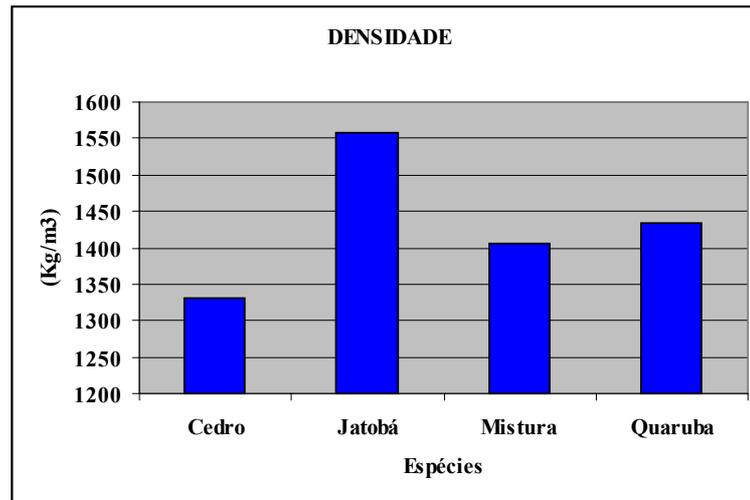


Figura 4.2 - Resultados obtidos nos ensaios de Densidade

Analisando os resultados dos ensaios de densidade, (Figura 4.2) e a análise estatística, (Apêndice F, Tabela 1F, página 142), verificou-se a diferença estatística entre os resultados das espécies. As chapas confeccionadas com os resíduos de Jatobá apresentaram, a maior densidade, o que era de se esperar, em virtude desse resíduo apresentar a maior massa específica, o que leva a pensar que suas fibras estejam mais compactadas, com um menor ponto de saturação das mesmas.

Pode-se neste momento afirmar, que a massa específica do resíduo, interfere diretamente no valor da densidade da chapa. A densidade também pode variar, para chapas de uma mesma espécie, variando a quantidade de material, para uma mesma pressão aplicada, ou seja, quanto maior for à quantidade de material utilizada para fabricação de uma chapa, maior será a densidade e maior será a sua razão de compactação. O volume de cimento neste caso tem a maior influência no peso da chapa.

Os resultados encontrados estão dentro dos valores utilizados pela Federação da Indústria de Fabricantes de Chapas WPIF (2004) que estabelece a densidade mínima de 1100 kg/m<sup>3</sup>.

Zucco (1999), em chapas fabricadas com casca de arroz, encontrou valores variando entre 1,28 a 1,59 kg/m<sup>3</sup>, e Latorraca (2000), resultados entre 1,07 a 1,11 kg/m<sup>3</sup>, para o Eucalipto.

#### 4.2.2 Teor de umidade

A Figura 4.3 apresenta o resultado do ensaio de teor de umidade nas condições de armazenagem em câmara úmida há 28 dias e o material seco ao ar até a estabilização da massa.

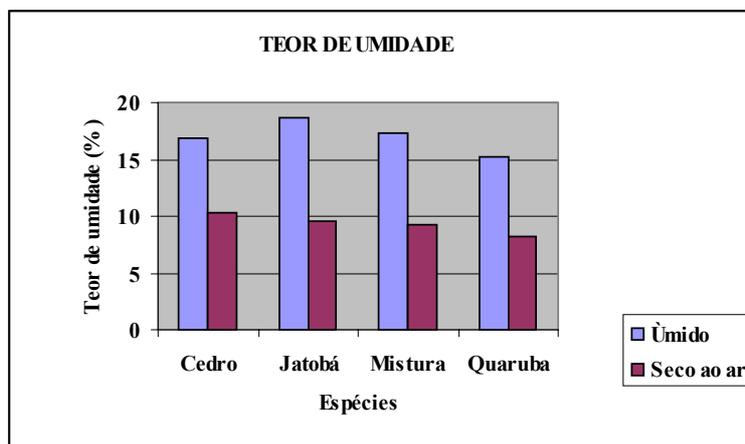


Figura 4.3 - Resultados obtidos nos ensaios de Teor de Umidade

A resistência mecânica da chapa de cimento-madeira tem a influência do teor de umidade da chapa. Quanto maior a umidade menor será a resistência mecânica (ver Capítulo 2, item 2.7 página 16). Este fato foi verificado por Savastano JR. (1992), durante o estudo da interface fibra-matriz. À perda de resistência mecânica no compósito, com o aumento da umidade, se dá pela variação dimensional da fibra, que é responsável pelo seu descolamento, diminuindo a aderência fibra-matriz.

O compósito cimento madeira é um material higroscópico, e tem o seu teor de umidade condicionado a umidade relativa do local de aplicação. Os corpos-de-prova foram retirados de uma câmara úmida, e os valores dos ensaios refletem as condições de armazenagem. Para os fabricantes de chapas, a umidade de equilíbrio da chapa, fica situada entre 5% e 14% e em ambientes insalubre esta pode ser superior a 15% (WPIF, 2004).

Devido à porosidade da chapa e condições de estocagem (câmara úmida), as chapas apresentaram teor de umidade superior, em relação às secas ao ar.

A espécie Jatobá apresentou o maior teor de umidade, (18,59%), para as mesmas condições de estocagem, o que pode ser explicado pela maior porosidade da chapa, decorrente de um menor fator de compactação (Tabela 13D, Apêndice D página 137), e influenciou nos resultados de MOE e MOR à flexão.

### 5.2.3 Inchamento em espessura

Na Figura 4.4 apresenta-se os resultados das médias dos ensaios de inchamento em espessura. O inchamento em espessura foi medido, entre o estado seco e após a imersão por 24 horas. Os resultados detalhados encontram-se no Apêndice D, (páginas 136 a 137) e a análise estatística no Apêndice F (páginas 143).

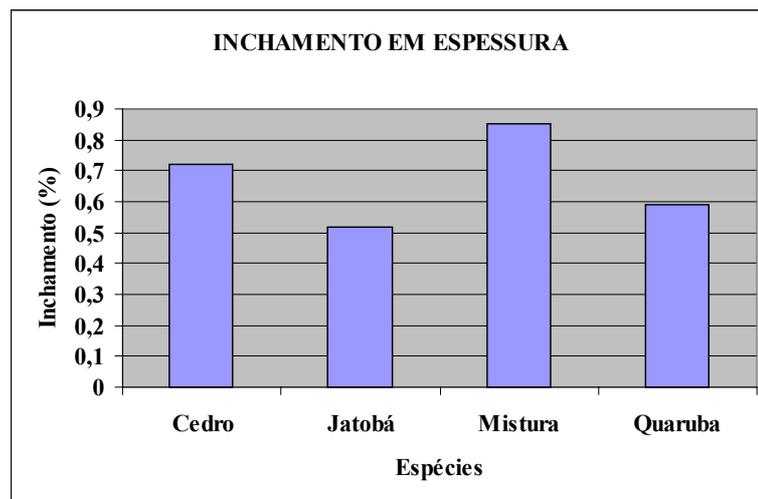


Figura 4.4 – Resultados obtidos nos ensaios de Inchamento em Espessura

A análise estatística comprovou a igualdade entre as médias das espécies, para variável inchamento em espessura após 24 horas de imersão em água, (Tabela 4F, pág.143, Apêndice F). As menores médias foram apresentadas pelas chapas de Jatobá e Quaruba. Para Latorraca (2000), essa propriedade física é pouco influenciada pelas outras variáveis, em função do ambiente de enclausuramento das partículas de madeira, oferecido pela matriz de cimento.

As médias de todas as espécies, do ensaio de inchamento, ficaram abaixo das médias exigidas pelo processo BISON (1978), que é de 1,8% em 24 horas de imersão, e do fabricante de chapas CETRIS (2004), que é de 1,5% em 24 horas de imersão.

### 4.2.4 Absorção de água

Na Figura 4.5, apresenta o resultado dos ensaios de absorção de água em 24 horas. As medidas dos corpos-de-prova foram feitas entre o estado seco e após a imersão em água por 24 horas. Os resultados detalhados encontram-se no Apêndice D, (pág. 136 e 137) e a análise estatística no Apêndice F (pág. 143).

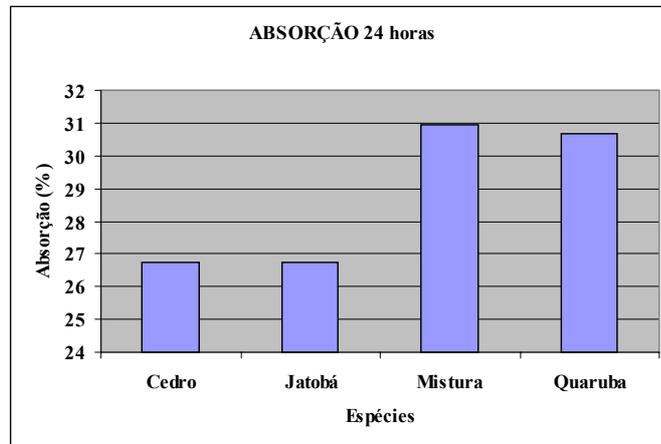


Figura 4.5 – Resultados obtidos nos ensaios de Absorção de Água em 24 horas

A variação granulométrica, e o teor de fibras vegetais provocam efeito significativo na absorção de água. Compósitos com maior quantidade de finos, e teor de fibras, proporcionam absorções maiores, relacionadas a uma maior área específica das partículas, aumentando assim a possibilidade de retenção de água.

Para o fabricante de chapas de cimento-madeira CETRIS, o valor máximo de absorção de água admitido para as chapas de cimento-madeira é de 32%. As espécies estudadas apresentaram médias estatisticamente iguais (Tabela 5F, Apêndice F, pág. 143), e encontram-se dentro dos valores aceitáveis, sendo que a maior absorção em número relativo foi da mistura das espécies (30,97%) e da Quaruba (30,68), fato que não pode ser atribuído somente a granulometria, pela razão de que as espécies apresentaram semelhanças granulométricas, mas poderá estar também relacionado à estrutura das fibras.

Okino et al. (2004), para essa propriedade física, em chapas de cimento-madeira com *Hevea brasiliensis* Müll. Arg., encontraram valores variando de 11,25% a 21,60%. Iwakiri (2000), pesquisando os resíduos de serrarias para produção de painéis de madeira aglomerada de Eucalipto, encontrou valores variando de 37,37% a 58,80%.

Deve-se ressaltar, que as chapas foram moldadas, sem a eliminação das partículas consideradas finas para a indústria, isto é, partículas com dimensões abaixo da peneira de malha 0,60mm. A eliminação desse material poderá melhorar as propriedades de absorção do compósito.

#### 4.2.5 Módulo de ruptura e módulo de elasticidade

As Figuras 4.6 e 4.7, apresentam os resultados dos ensaios de flexão estática. Os corpos-de-prova foram ensaiados na condição de estocagem em câmara úmida. Os resultados detalhados encontram-se no Apêndice E, (pág. 138 a 139) e a análise estatística no Apêndice F, (pág. 144).

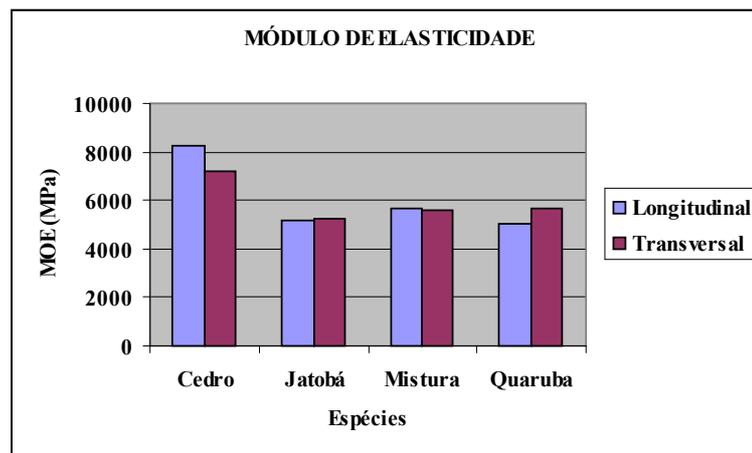


Figura 4.6 – Resultados obtidos nos ensaios de flexão estática para o Módulo de Elasticidade

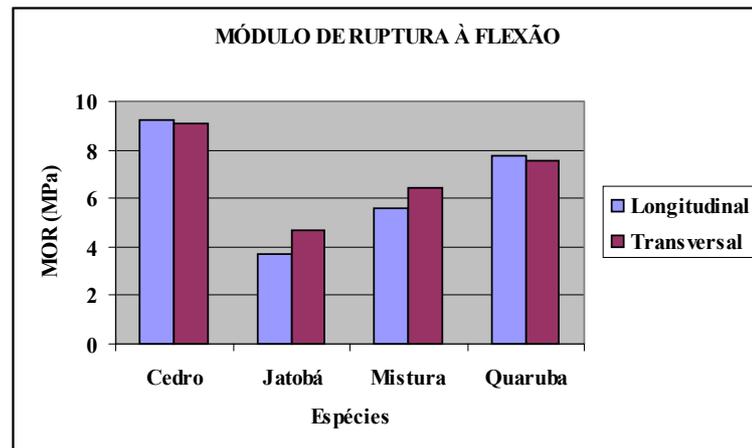


Figura 4.7 – Resultados obtidos nos ensaios de flexão estática para o Módulo de Ruptura

Analisando os resultados das médias do ensaio de flexão estática das chapas de cimento-madeira apresentados, nas Figuras 4.6 e 4.7, verifica-se que a direção dos corpos-de-prova na chapa, indicados na (Figura 3.12, capítulo 3, pág. 49), influenciou nos valores do Módulo de Ruptura, MOR e Módulo de Elasticidade, MOE. Tanto na variável MOR, como

em MOE, ocorreram diferenças estatísticas (Apêndice F, Tabelas 6F e 7F) entre os valores médios.

Para os valores de MOE, as espécies Cedro e Mistura apresentaram os maiores resultados na direção longitudinal à chapa, e para as espécies Jatobá e Quaruba na direção transversal. Essa tendência não se repetiu para a variável MOR, onde as maiores médias na direção longitudinal foram, das chapas com resíduos de Cedro e Quaruba, e na direção transversal, no Jatobá e Mistura.

Essas diferenças podem ser explicadas pelo posicionamento dos corpos de prova nas chapas, onde a pressão aplicada pode variar em regiões próximas às bordas da chapa.

Os esforços na flexão estão relacionados mais com a compactação da chapa, do que, propriamente dito, com a granulometria das partículas. Este inclusive, pode ter sido o motivo, para que a espécie Jatobá, não tenha apresentado valores de MOR estatisticamente superiores ou iguais as demais espécies pesquisadas. Fato confirmado por Latorraca (2000), para a espécie *Eucalyptus citriodora*, que apresentou densidade maior que as outras espécies, avaliadas. Por apresentar uma densidade maior, o Jatobá desenvolveu uma razão de compactação mais baixa, Tabela 13D (Apêndice D, pág. 137). Essa tendência não se repetiu no ensaio de compressão paralela e tração perpendicular.

Na Figura 4.8 pode-se observar a ruptura típica para o material compósito cimento madeira. A ruptura na flexão esta concentrada na região central do corpo-de-prova, indicando o colapso por fendilhamento.

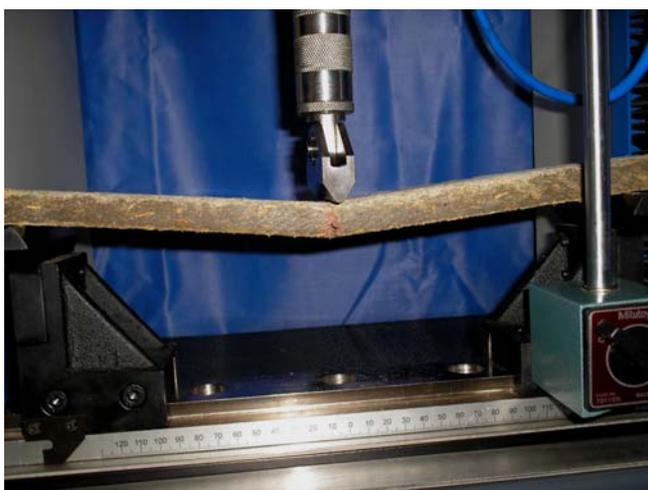


FIGURA 4.8 – Fissura típica em compósito cimento-madeira à flexão

Nas propriedades mecânicas MOE e MOR na flexão, a espécie Cedro apresentou, médias estatisticamente superiores as demais (Figuras 4.6 e 4.7). O valor de MOE de 7,2 GPa

na direção transversal é superior ao valor estipulado no processo de fabricação de chapas de cimento-madeira BISON (1978), que é de no mínimo 3 GPa.

Okino et al. (2004) obtiveram em suas pesquisas uma média de 6,28 GPa, para a espécie *Hevea brasiliensis* Müll. LATORRACA (2000) encontrou uma média de 3,46 GPa utilizando o *Eucalyptus urophylla*.

O Módulo de ruptura da espécie Cedro superou as exigências do processo BISON (1978). Latorraca (2000), para a mesma espécie de Eucalyptus, encontrou um valor de MOR igual a 6,96 MPa.

#### 4.2.6 Tração perpendicular à superfície da chapa ou ligação interna

Na Figura 4.9 são apresentados os ensaios de tração perpendicular ou ligação interna. Os ensaios foram realizados com as condições de estocagem em câmara úmida. Os resultados detalhados estão no Apêndice E, (pág. 140 e 141) e a análise estatística no Apêndice F, (pág. 144 e 145).

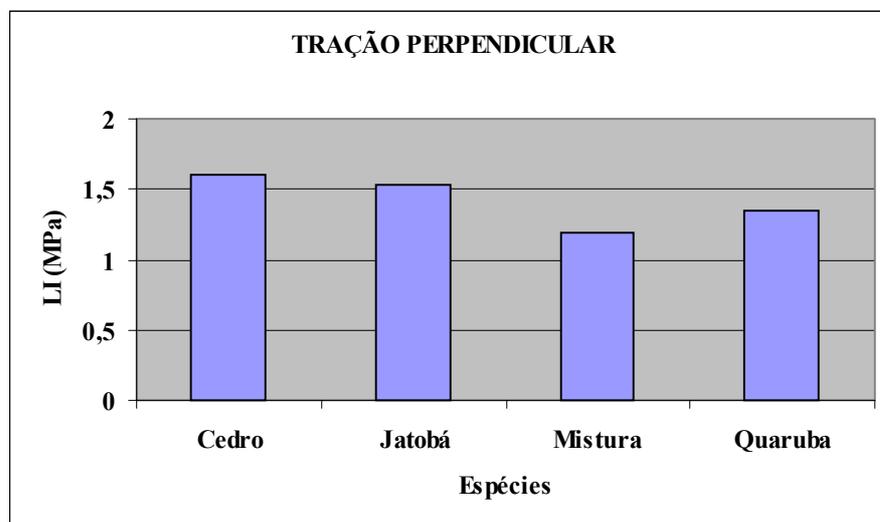


Figura 4.9 – Resultados dos ensaios de Tração Perpendicular à superfície da chapa

Os resultados das médias dos ensaios de ligação interna, (Figura 4.9) apontou valores estatisticamente diferentes (Apêndice F Tabela 8F, pág. 144). Os corpos-de-prova Figura 4.10 a seguir, sofreram ruptura brusca, aproximadamente na linha média da espessura, com a fratura da argamassa pela maior fragilidade em relação à tração, e imediatamente o rompimento das fibras de madeira.

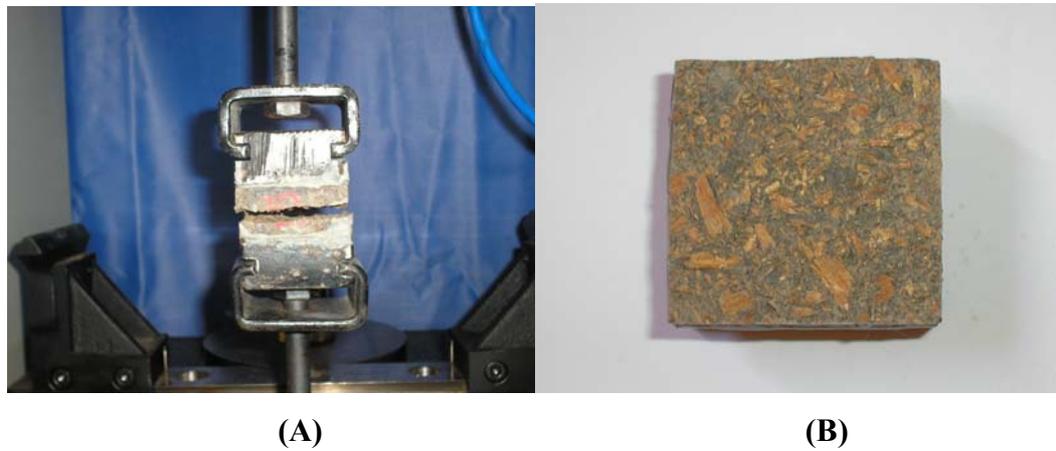


FIGURA 4.10 – Ensaio de tração perpendicular (A) e corpo-de-prova rompido (B)

Esses resultados quando comparados a exigência mínima requerida pelo processo BISON (1978), que é de 0,4 MPa, são considerados ótimos e superiores, aos valores obtidos na pesquisa de Latorraca (2000), para espécie *Eucalyptus robusta*, que foi de 0,71 MPa, e de Okino et al. (2004), para espécie *Hevea brasiliensis* Müll 0,41 MPa. Outro pesquisador Valenzuela (1989 apud LATORRACA, 2000) encontrou valores em outras espécies de até 1,15 MPa.

#### 4.2.7 Compressão paralela à superfície da chapa

Na figura 4.11, encontra-se o resultado do ensaio de compressão paralela à superfície da chapa. Os ensaios foram realizados com as condições de estocagem em câmara úmida. Os resultados detalhados estão no Apêndice E, (pág. 141) e a análise estatística no Apêndice F, (pág. 145).

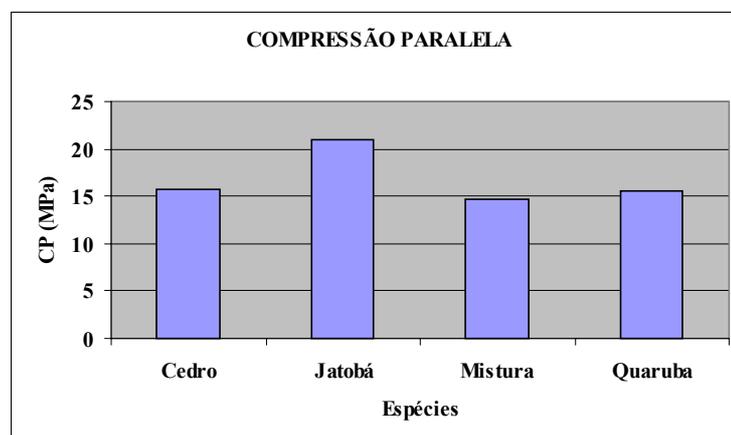


Figura 4.11 – Resultados dos ensaios de Compressão Paralela à superfície da chapa

No ensaio de compressão paralela ocorreram diferenças estatísticas entre as médias (Apêndice F Tabela 9F, pág.145). Verificou-se neste ensaio o efeito produzido pela aplicação de pressão, que provocou um melhor adensamento no compósito. O desempenho da espécie Jatobá apresentou valores aproximadamente iguais ao ensaio de compressão axial, influenciado pela menor razão de compactação da chapa.

Os compósitos com resíduos de Cedro, Mistura e Quaruba apresentaram, resultados superiores aos realizados nos ensaios de compressão axial na primeira fase, provavelmente pela aplicação da pressão de moldagem da chapa. O efeito mola dificulta o adensamento das espécies de menor massa específica, pelo maior volume de resíduos na moldagem de corpos-de-prova cilíndricos, que foram adensados manualmente com espátula. A aplicação de pressão reduz a quantidade de água, além de proporcionar uma melhor adesão entre as fases, pela diminuição do volume de vazios.

A espécie Jatobá poderá ter seu desempenho melhorado, pelo aumento da densidade da chapa, elevando-se a razão de compactação. Deve ser levada em consideração a viabilidade de utilização da chapa nessas condições com densidade elevada.

As fissuras observadas nos corpos-de-prova no ensaio de compressão paralela estão apresentadas na Figura 4.12 e identificadas a seguir:



FIGURA 4.12 – Tipos de fissuras em corpos-de-prova no ensaio de compressão paralela

A ruptura do tipo (A), pode ser identificada como cisalhamento, e esta associada a um plano de menor resistência, onde a tensão ocorre a aproximadamente  $45^\circ$  em relação ao eixo axial. A ruptura do tipo (B) é um cisalhamento do tipo cunha, ocorrendo fissura dupla. A ruptura do tipo (C) é um tipo de cisalhamento que pode identificar um material como

heterogêneo, ou irregularidades na superfície de contacto do corpo-de-prova com os pratos da prensa. A ruptura do tipo (D) é uma combinação de esmagamento e cisalhamento.

O desempenho de todas os resíduos superou os resultados encontrados por Latorraca (2000), para a espécie *Eucalyptus urophylla*, que foi de 6,67 MPa.

### 4.3 Análise por difração de raios-X e análise microestrutural

#### 4.3.1 Análise por difração de raios-X

Todas as amostras apresentaram resultados bastante semelhantes, no que diz respeito ao aspecto geral dos difratogramas obtidos e das fases minerais identificadas.

Os espectros são caracterizados por elevado conteúdo de material não-cristalino (amorfo), provavelmente relacionado à adição da matéria orgânica vegetal, o que reduziu sensivelmente a intensidade dos picos presentes e dificultando a identificação das fases cristalinas.

Mesmo assim, alguns picos de baixa intensidade foram identificados, superpostos ao “fundo amorfo”. O resultado da busca automática pelo *software* revelou a presença das seguintes fases minerais: calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) e magnesita ( $\text{MgCO}_3$ ), Tabela 4.1. A banda larga que ocorre em aproximadamente  $12^\circ 2\theta$  é provavelmente relacionada a metacaulinita (argilomineral caulinita cuja estrutura foi destruída por calcinação).

Tabela 4.1 – Fases da pasta de cimento hidratada

PDF	Mineral	Fórmula Química
086-0174	Calcita	$\text{CaCO}_3$
080-0101	Magnesita	$\text{MgCO}_3$

Outros picos menores podem ser vistos no difratograma da amostra CEDRO (Figura 4.13), mas não foi possível fazer a sua identificação.

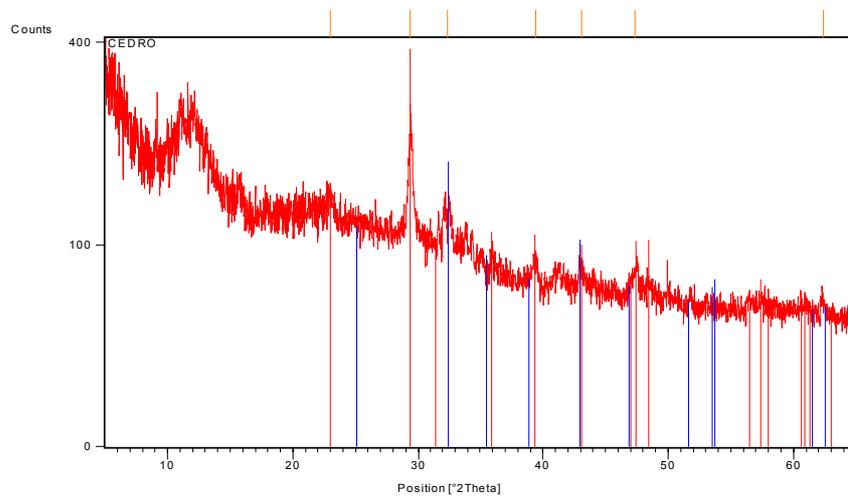


Figura 4.13 – Difratograma da amostra Cedro

Na Figura 4.14 é apresentada a superposição dos difratogramas das quatro amostras investigadas destacando a semelhança do padrão difratométrico das mesmas.

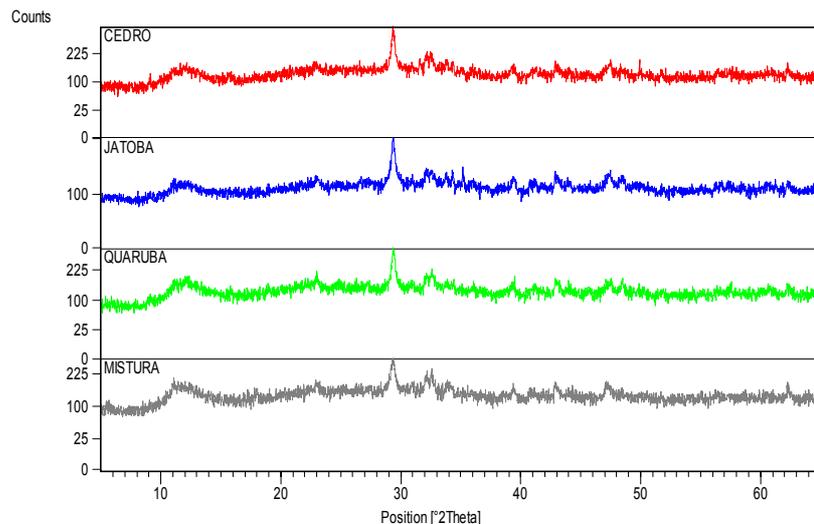


Figura 4.14 – Difratogramas das quatro amostras analisadas

A presença de material não-cristalino (amorfo) relacionado aos resíduos de madeira (Figuras 4.13 e 4.14) interferiram nos resultados deste ensaio, para identificação das fases da pasta hidratada de cimento. A presença de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) com maior intensidade, composto este comum a todas as demais amostras poderá ter sido originado da carbonatação do hidróxido de cálcio, com o  $\text{CO}_2$  presente no ar ou das adições de material carbonático presentes no aglomerante. Deve-se ressaltar também que as amostras foram colhidas da superfície do compósito, com idade superior a cem dias, portanto mais sujeita a penetração do  $\text{CO}_2$  do ar.

A carbonatação da matriz atribuída devida à alta porosidade facilitou a penetração do  $\text{CO}_2$  presente no ar atmosférico, permitindo a formação do carbonato de cálcio elevando a densificação do material, pela transformação da portlandita em carbonato, reduzindo a porosidade e o pH do sistema, fornecendo um ambiente menos agressivo a fibra.

#### 4.3.2 Análise microestrutural

##### a) Imagens por elétrons secundários

Os resultados das imagens de microscopia eletrônica de varredura, por elétrons secundários, são apresentadas nas Figuras 4.15 a 4.32.

Na Figura 4.15, tem-se uma chapa com resíduo de Cedro com relação água/cimento 0,60 e 136 dias de idade. São visíveis o alto teor de fibras de madeira (A) e os produtos da hidratação aderidos às mesmas formando uma zona de transição porosa (B).

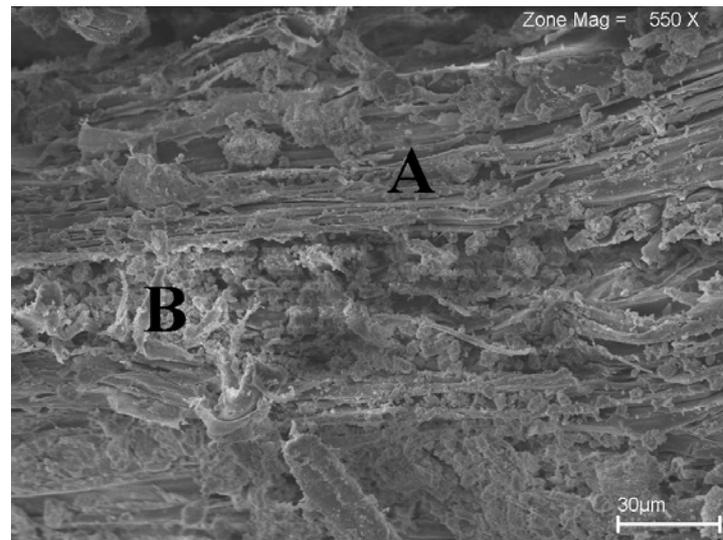


Figura 4.15 – Chapa de cimento-madeira com de resíduo de Cedro.

A Figura 4.16 é um detalhe da Figura 4.15, no ponto (B). Constatam-se os produtos hidratados entre duas fibras, apresentando estrutura pouco compacta.

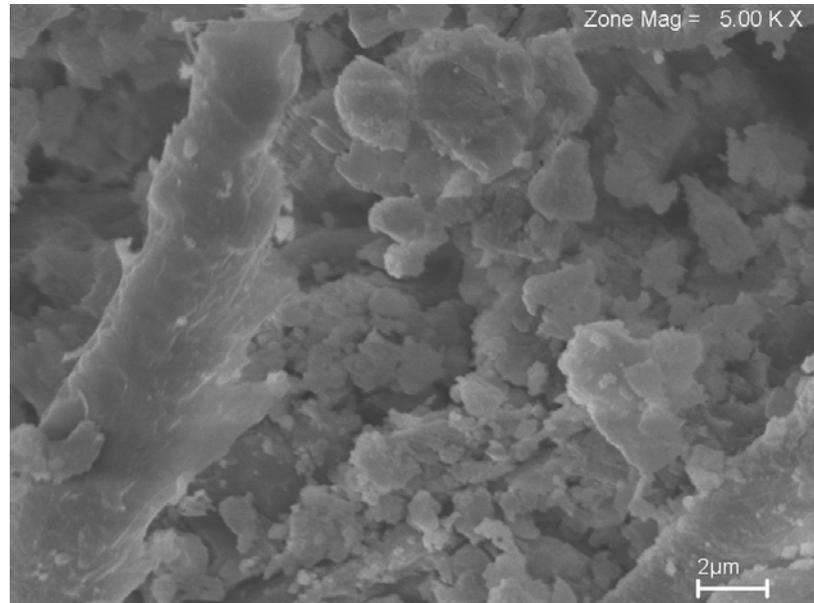


Figura 4.16 – Chapa de cimento-madeira com resíduo de cedro.

Na Figura 4.17, pode-se observar melhor a porosidade e a fissura em região de transição fibra-matriz em chapa de Cedro relação água/cimento 0,60, 136 dias de idade.

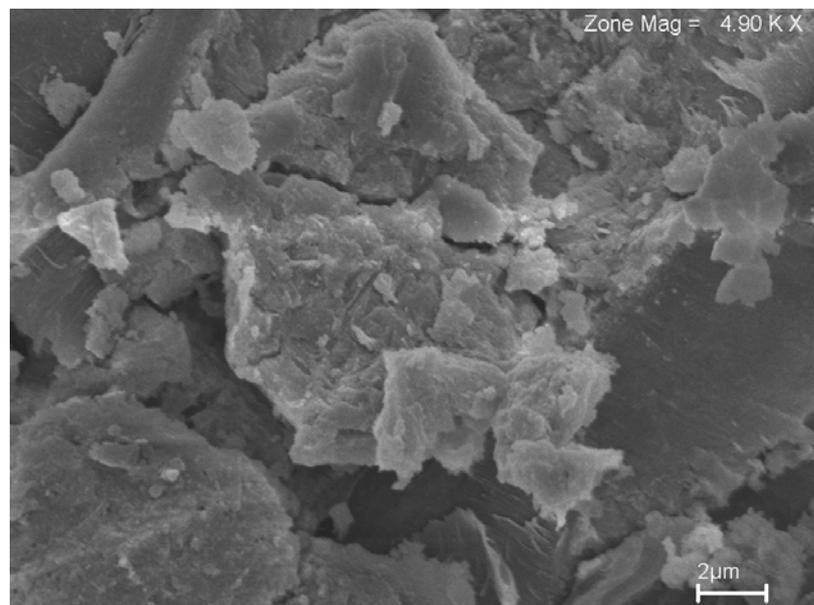


Figura 4.17 – Chapa de cimento-madeira com resíduo de Cedro.

A Figura 4.18 mostra a chapa de resíduo de Cedro, relação água/cimento 0,60 e idade 136 dias, com fibras fraturadas (A) e produtos da hidratação com porosidade e fraturas.

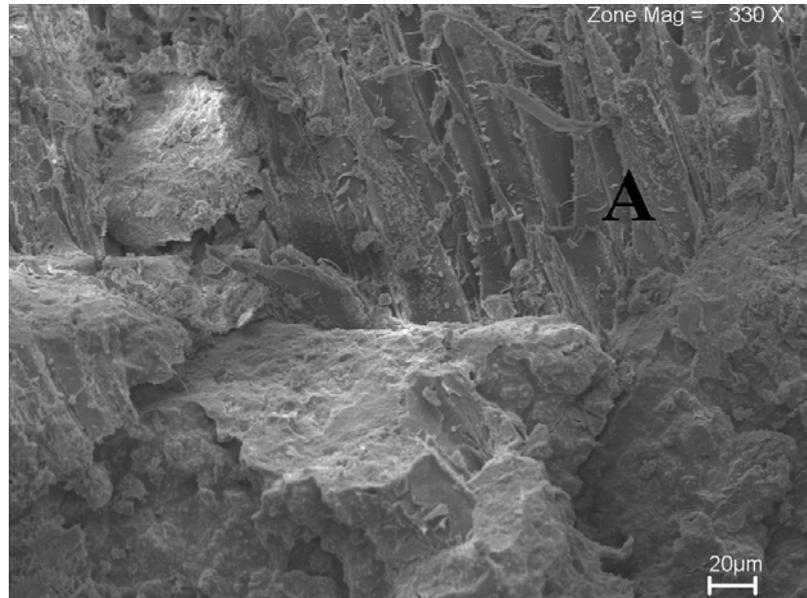


Figura 4.18 – Chapa de cimento-madeira com resíduo de cedro.

A Figura 4.19 apresenta uma fibra rompida (A) de um compósito com relação água/cimento 0,60 e idade 136 dias. Observa-se uma zona de transição porosa, e a fibra descolada da matriz. São nítidas as fissuras na zona de transição e fora desta (B).

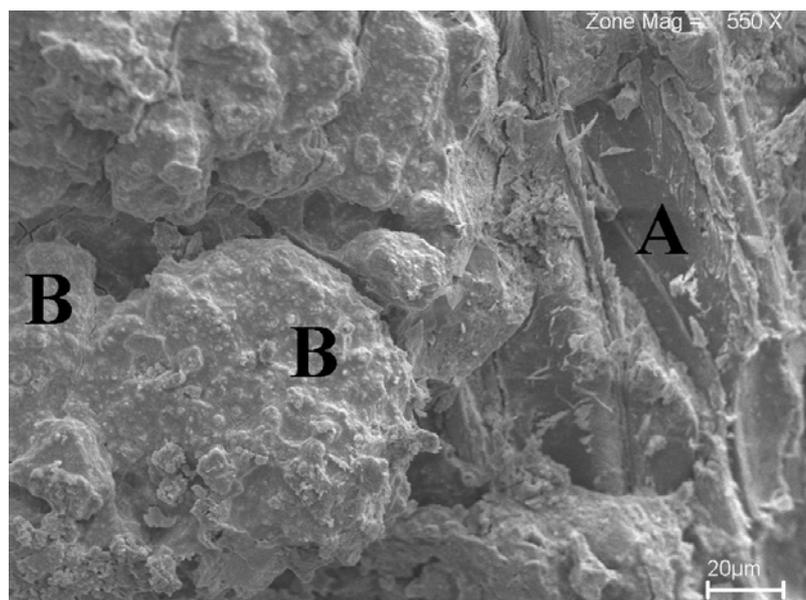


Figura 4.19 – chapa de cimento-madeira com resíduo de cedro

Na Figura 4.20 tem-se a imagem de elétrons secundários de compósito de resíduos de Jatobá, com relação água/cimento 0,60 e idade 126 dias. As fibras estão recobertas de produtos da hidratação do cimento (A), apresentando zona de transição porosa, com abundância de cristais provavelmente hidróxido de cálcio (B).

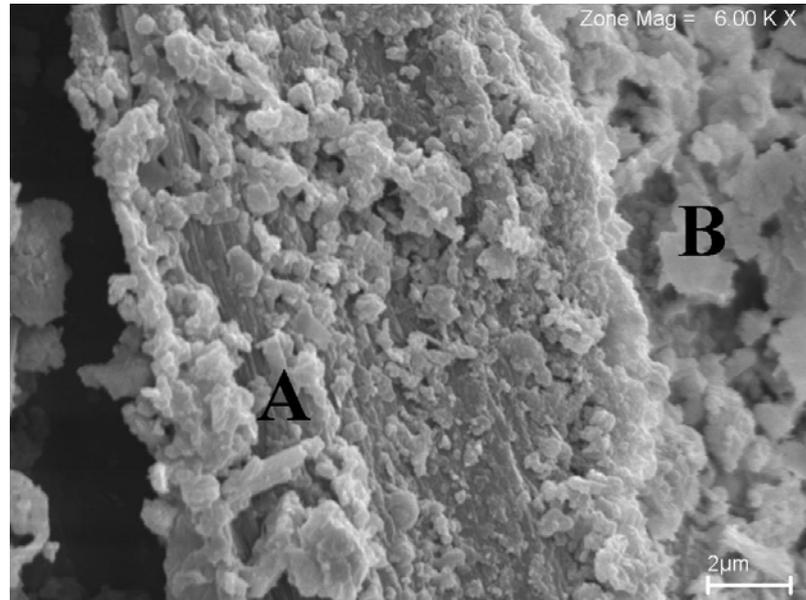


Figura 4.20 – Chapa de cimento-madeira com resíduo de Jatobá.

Nota-se na Figura 4.21 a parede da fibra com trincas (A) e a presença de cristais. Zona de transição porosa. Compósito com relação água/cimento 0,60 e idade 126 dias.

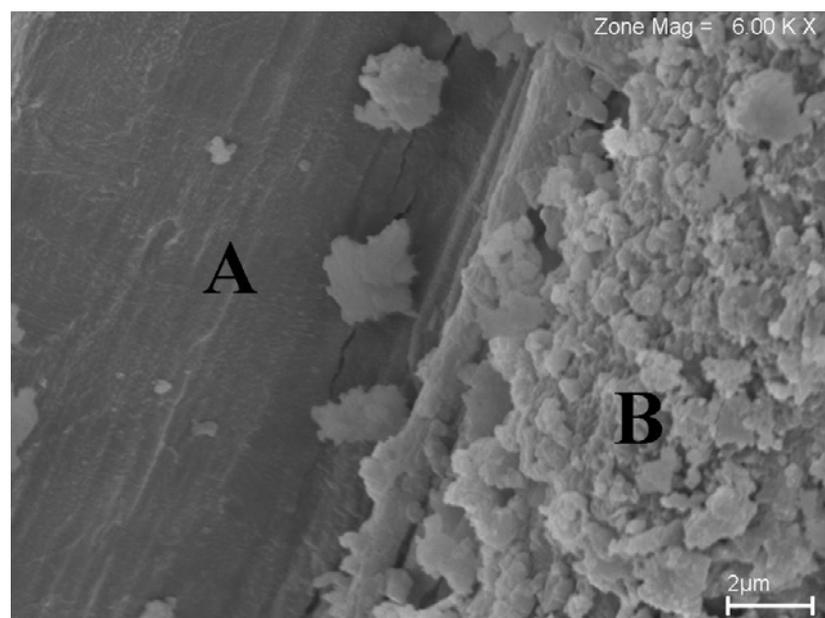


Figura 4.21 – Chapa de cimento-madeira com resíduo de Jatobá.

Na Figura 4.22 observa-se uma fibra descolada da matriz (A), ocasionada pela variação dimensional, zona de transição com menor porosidade e fissuras (B), originadas da retração por secagem da matriz. Compósito com relação água/cimento 0,60 e idade 126 dias.

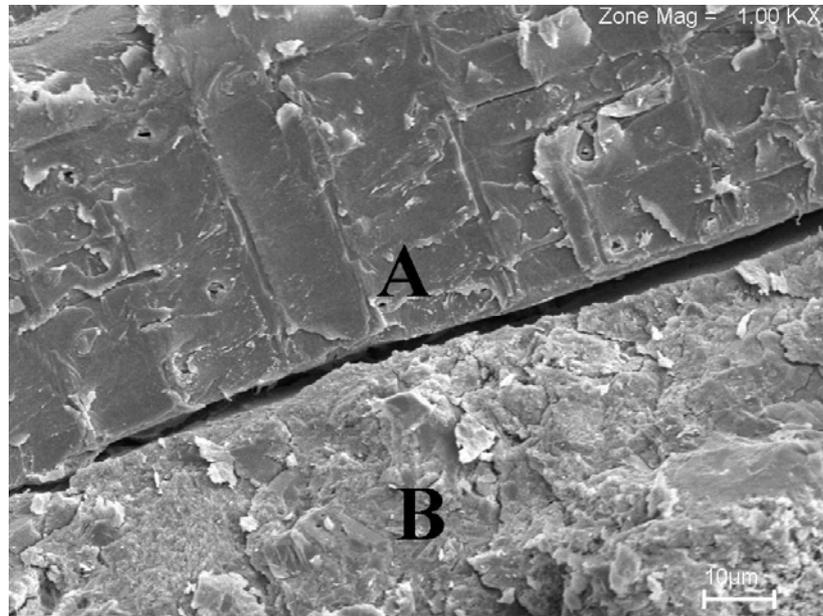


Figura 4.22 – Chapa de cimento-madeira com resíduo de Jatobá

Na Figura 4.23 observa-se uma zona de transição com bastantes fissuras e porosidade. Compósito com relação água/cimento 0,60 e idade 144 dias.

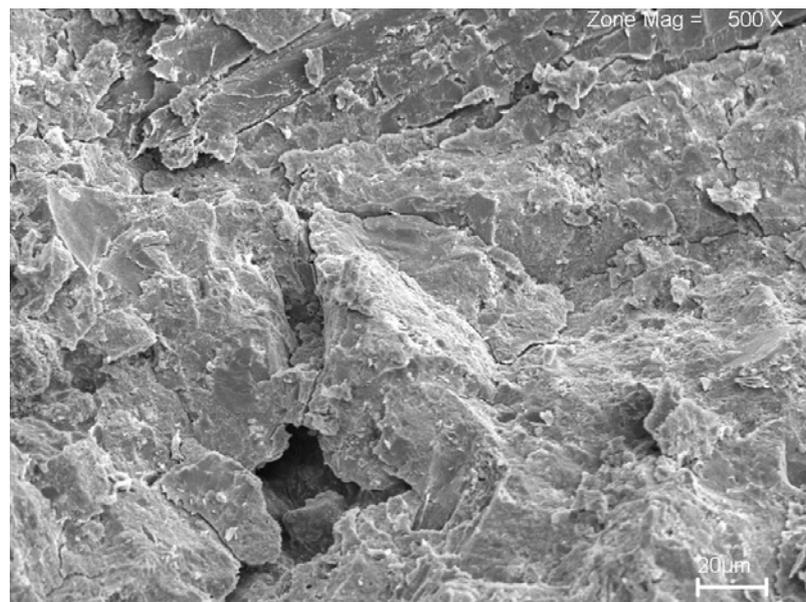


Figura 4.23 – Chapa de cimento-madeira com resíduos de Jatobá.

Na figura 4.24 observa-se o compósito resultante da Mistura das espécies, com relação água/cimento 0,60 e idade 112 dias. As fibras (A) apresentam as paredes rompidas e o lúmen (B) preenchido com produtos da hidratação do cimento. A zona de transição possui poros e fissuras.

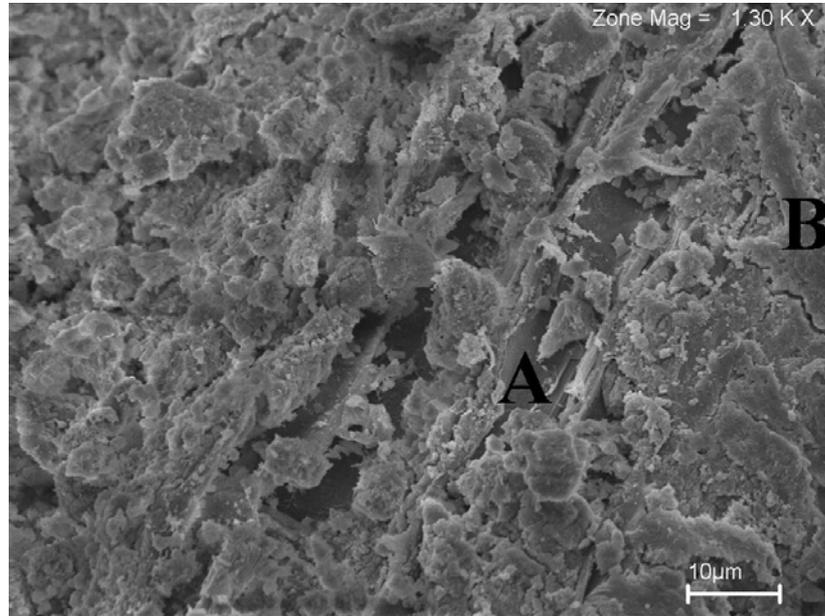


Figura 4.24 – Chapa de cimento-madeira com resíduos da Mistura das espécies.

O compósito com relação água/cimento 0,60 e 130 dias de idade, como se observa na Figura 4.25, apresenta as fibras recobertas pelos produtos da hidratação (A), e descolada da matriz, e fissura transversal (B), interrompida pela fibra.

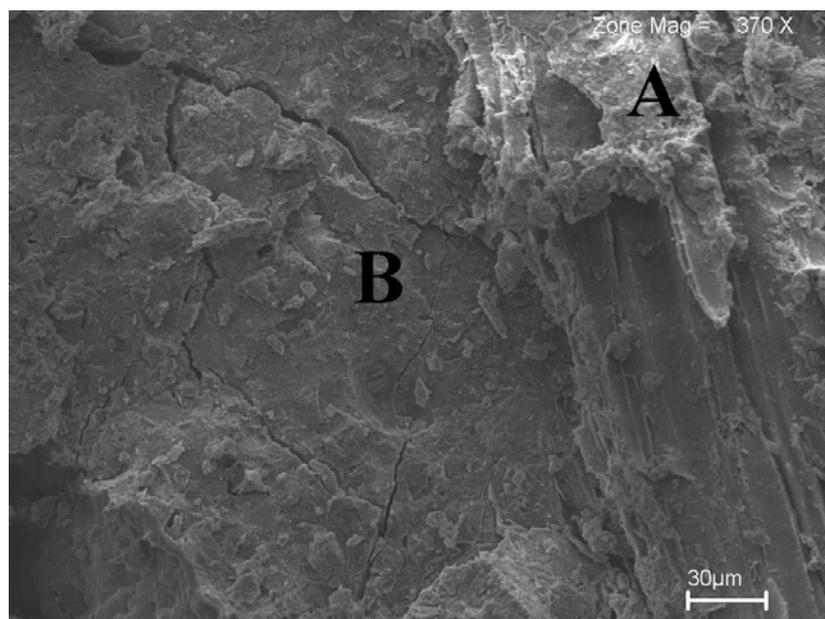


Figura 4.25 – Chapa de cimento-madeira com resíduos da Mistura das espécies.

A Figura 4.26 ilustra a imagem de um compósito da Mistura das espécies com relação água/cimento 0,60 e idade 130 dias. Presença de cristais em forma de agulhas provavelmente etringita.

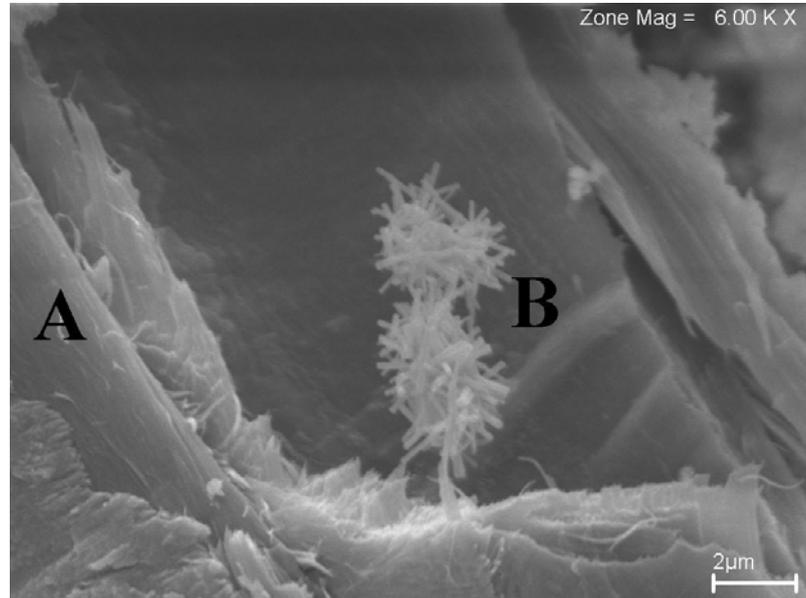


Figura 4.26 – Chapa de cimento-madeira com resíduos da Mistura das espécies.

Pode-se observar no compósito da Mistura das espécies, com relação água/cimento 0,60 e idade de 112 dias, Figura 4.27, o arrancamento de uma fibra da matriz (A). Observa-se também a porosidade (B) e as fissuras dentro e fora da zona de transição (C) em região mais compacta.

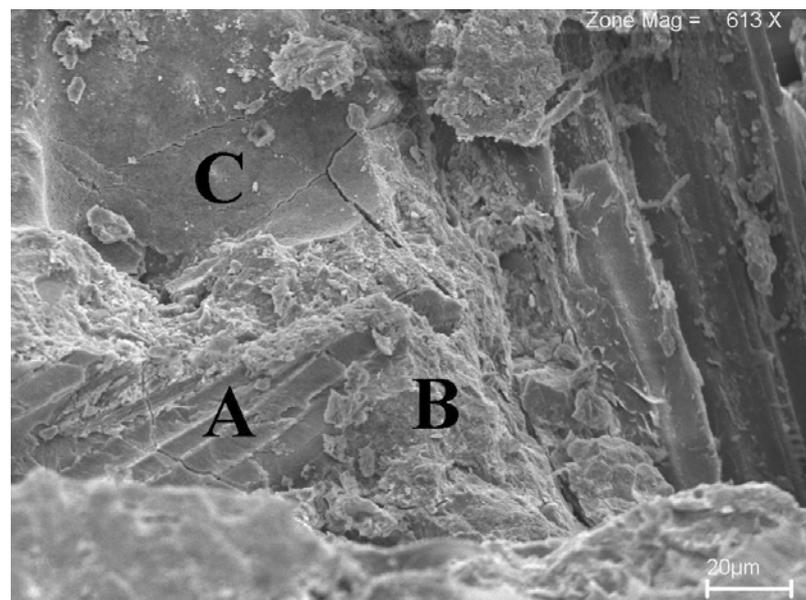


Figura 4.27 – Chapa de cimento-madeira com resíduos da Mistura das espécies.

A imagem de elétrons secundários da Figura 4.28 mostra um compósito com relação água/cimento 0,60 e idade 112 dias. É nítido o descolamento da fibra da matriz (A).

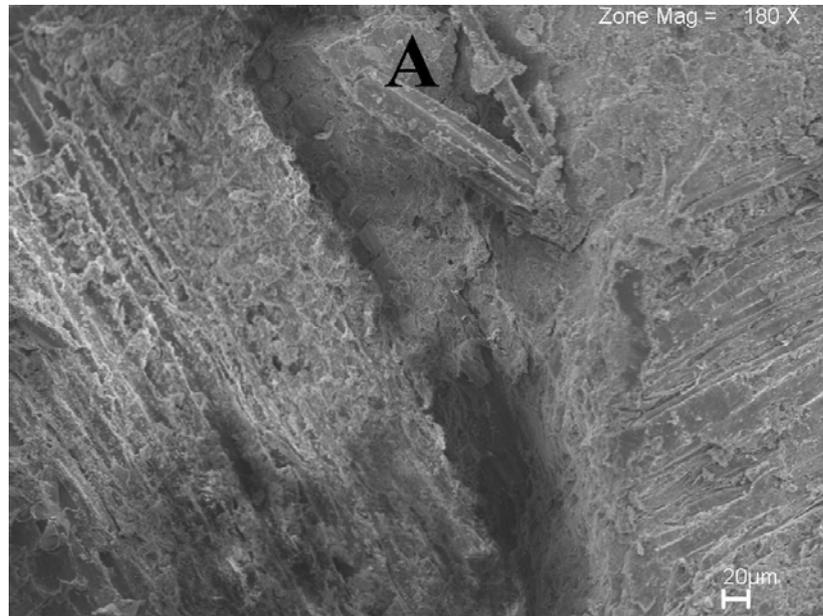


Figura 4.28 – Chapa de cimento-madeira com resíduos da Mistura das espécies.

Na Figura 4.29 temos um compósito de resíduo de Quaruba, com relação água/cimento 0,60 e idade 130 dias. Observa-se um feixe de células recoberto de produtos da hidratação (A), e a porosidade (B) da zona de transição, maior que o restante da matriz (C).

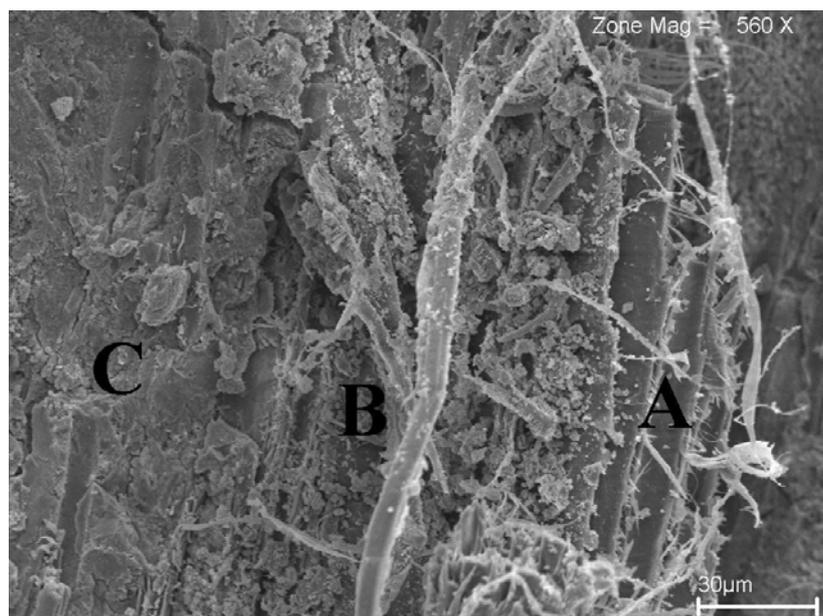


Figura 4.29 – Chapa de cimento-madeira com resíduos de Quaruba.

Na Figura 4.30 abaixo temos um detalhe da Figura 4.26. Pode-se verificar mais nitidamente a grande porosidade da zona de transição.

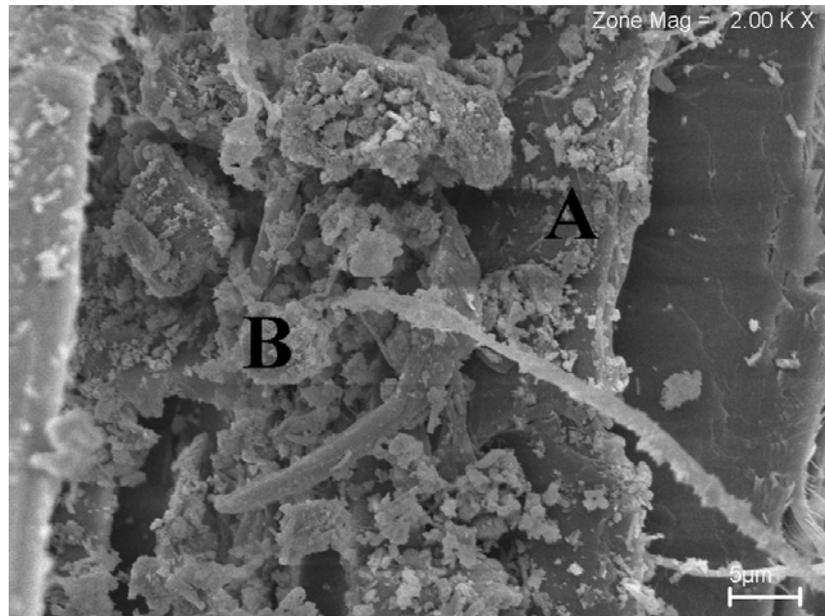


Figura 4.30 – Chapa de cimento-madeira com resíduos de Quaruba.

O compósito de resíduo de Quaruba, Figura 4.31, com relação água/cimento 0,60 e idade de 130 dias, mostra provavelmente um feixe de vasos cortados transversalmente (A) e fibra cortada longitudinalmente (B). São visíveis as fissuras e macro cristais de hidróxido de cálcio (C).

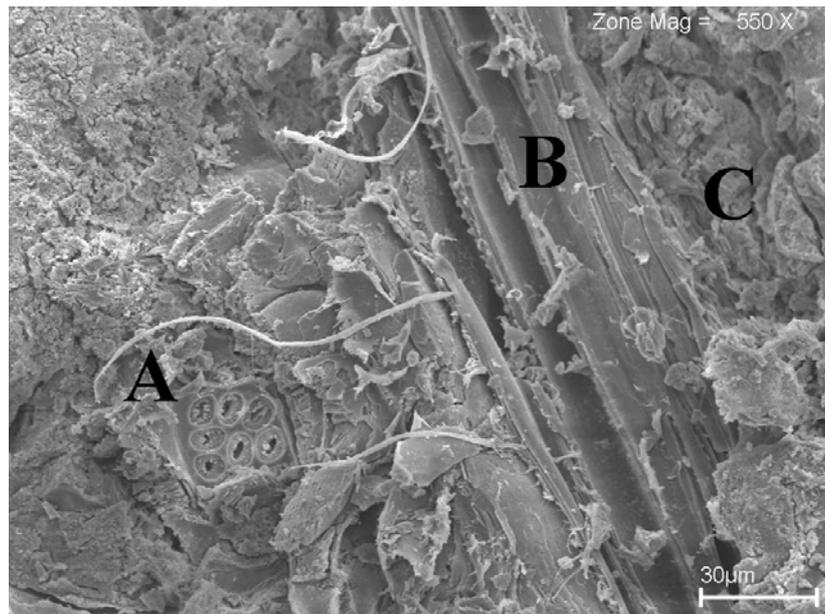


Figura 4.31 – Chapa de cimento madeira com resíduos de Quaruba.

Na Figura 4.32 pode-se observar o detalhe da Figura 4.31, no ponto “A”. O feixe de vasos (A) cortado transversalmente, verificando-se o interior preenchido pelos produtos da hidratação do cimento.



Figura 4.32 – Chapa de cimento-madeira com resíduos de Quaruba.

b) Imagens por elétrons retroespalhados

Os resultados da análise de espectrometria de raios X por energia dispersiva (EDS), nos pontos indicados, nas micrografias com imagens de elétrons retroespalhados seguem abaixo nas figuras 4.33 a 4.55:

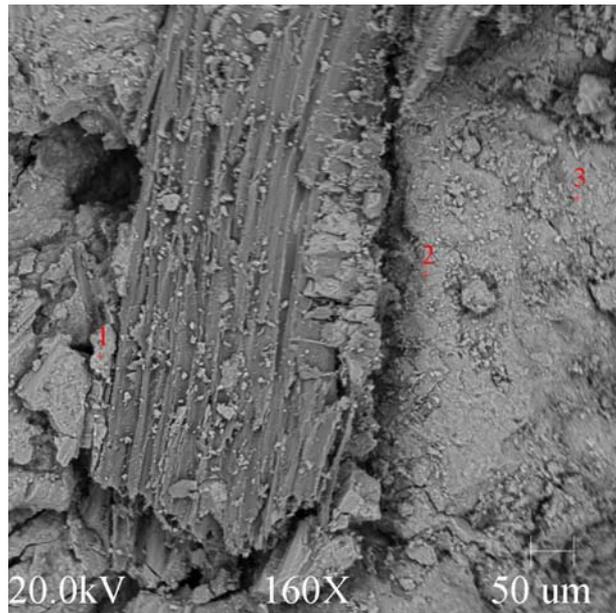


Figura 4.33 – Imagem de eletro retroespalhados de uma chapa de cedro. Idade de hidratação 168 dias.

Os pontos indicados pelos números um, dois e três, na Figura 4.33 foram os escolhidos para análise dos elementos químicos, mostrados nas Figuras (4.34, 4.35, e 4.36).

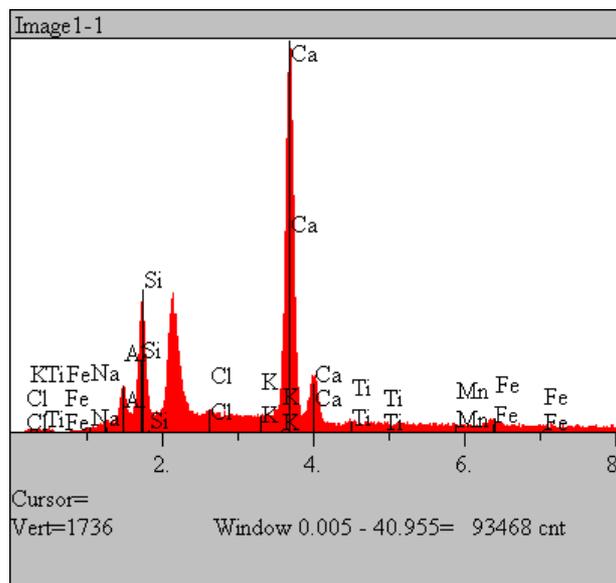


FIGURA 4.34 – EDS da matriz junto à fibra, referente ao ponto 1 da FIGURA 4.30.



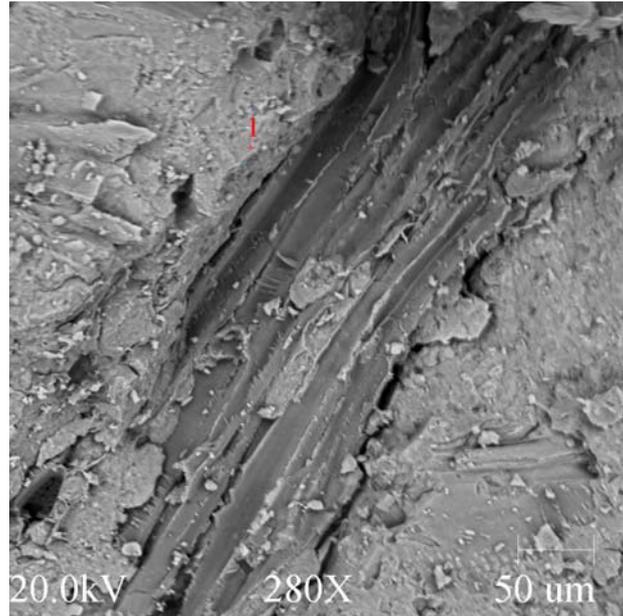


FIGURA 4.37 – Imagem de elétrons retroespalhados de uma chapa de Cedro. Idade de hidratação 168 dias.

O ponto 1 foi escolhido para análise dos elementos químicos e esta mostrado na Figura 4.38.

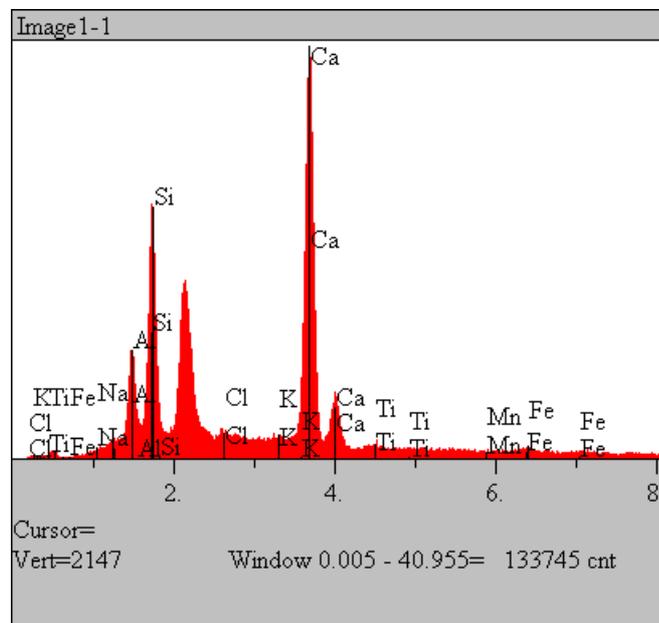


FIGURA 4.38 – EDS da matriz junto a um feixe de fibras, referente ao ponto 1 da FIGURA 4.37.

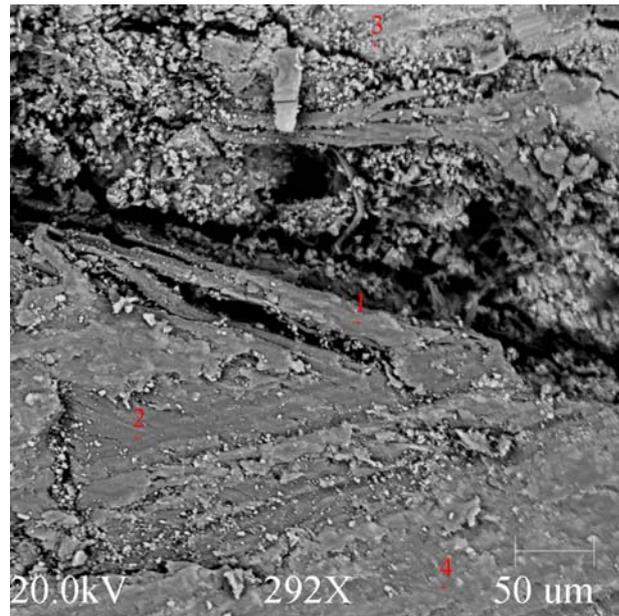


FIGURA 4.39 – Imagem de elétrons retroespalhados de uma chapa de Jatobá. Idade de hidratação 186 dias.

Os pontos um, dois, três, e quatro, indicados na Figura 4.39 foram os escolhidos para análise dos elementos químicos e estão mostrados nas Figuras (4.40, 4.41, 4.42 e 4.43).

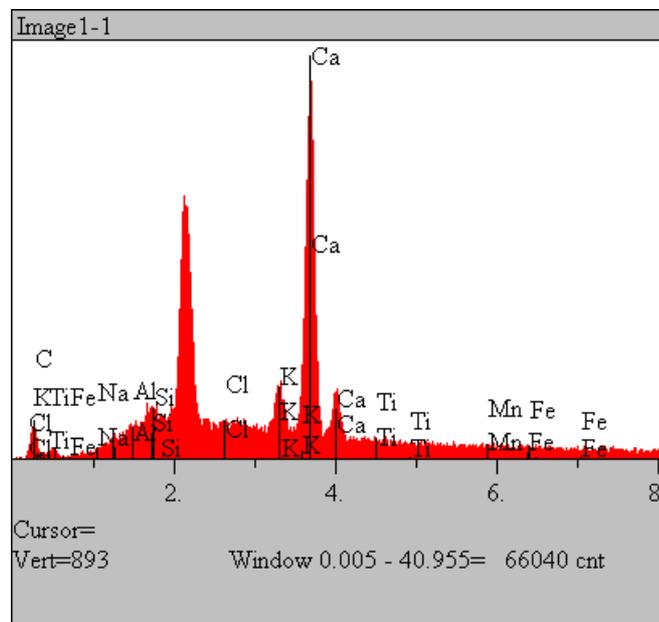


FIGURA 4.40 – EDS da matriz junto à fibra, referente ao ponto 1 da FIGURA 4.39.

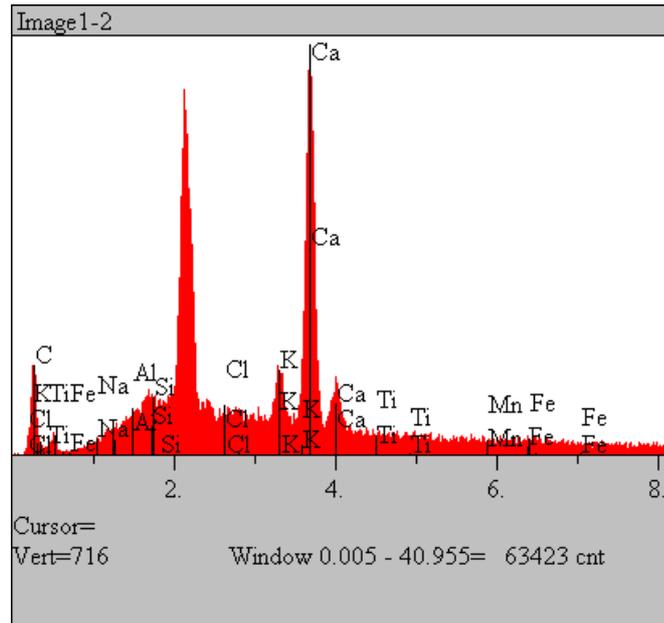


FIGURA 4.41 – EDS da matriz afastado da fibra, referente ao ponto 2 da FIGURA 4.39.

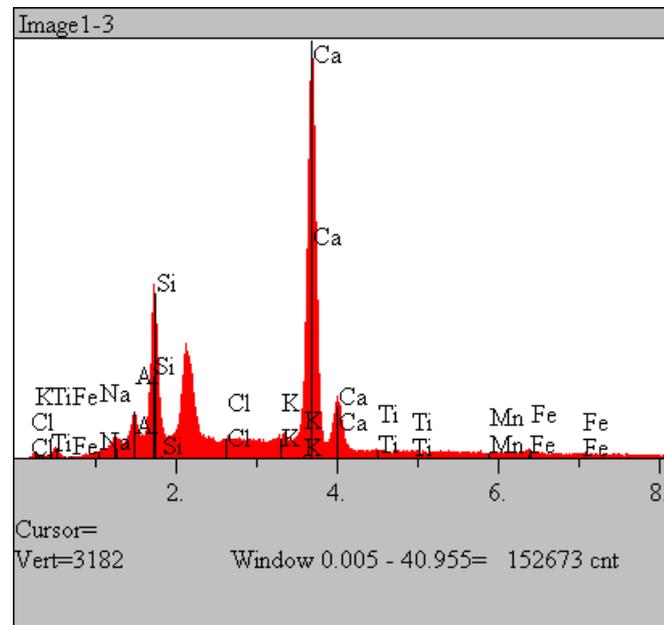


FIGURA 4.42 – EDS da matriz junto à fibra, referente ao ponto 3 da FIGURA 4.39.

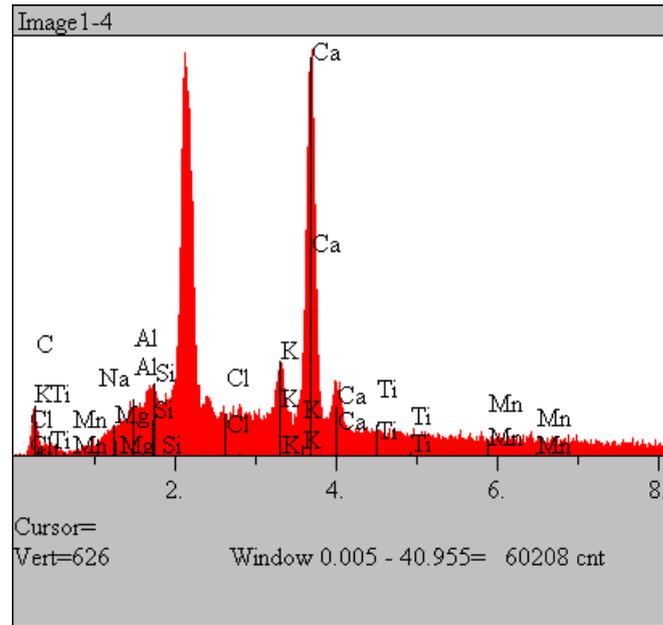


FIGURA 4.43 – EDS da matriz afastado da fibra, referente ao ponto 4 da FIGURA 4.39.

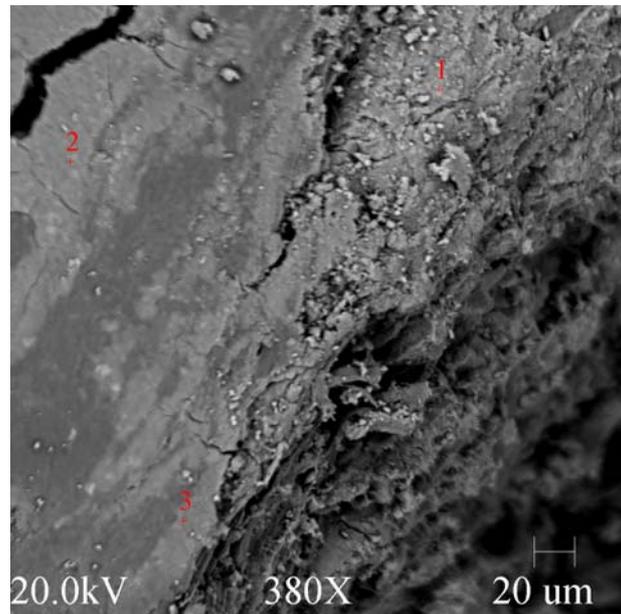


FIGURA 4.44 – Imagem de elétrons retroespalhados de uma chapa de Mistura. Idade de hidratação 154 dias.

Os pontos 1, 2 e 3 foram os escolhidos para a análise dos elementos químicos e estão mostrados nas Figuras (4.45, 4.46 e 4.47).

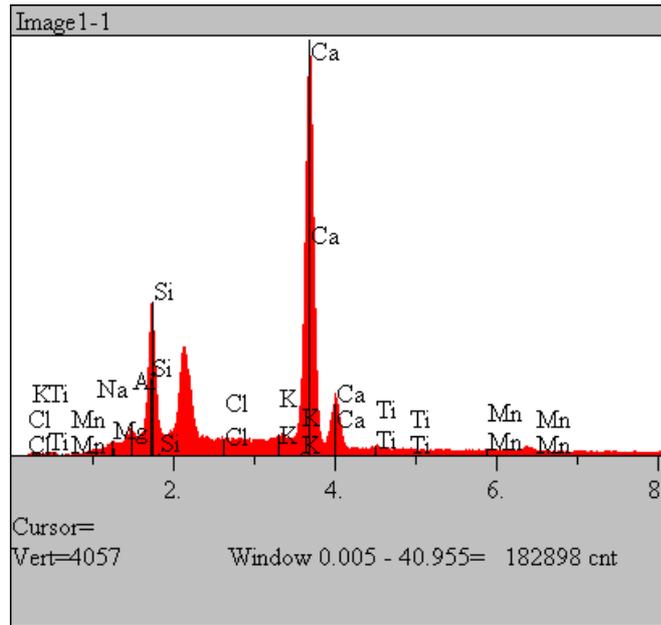


FIGURA 4.45 – EDS da matriz junto à fibra, referente ao ponto 1 da FIGURA 4.44.

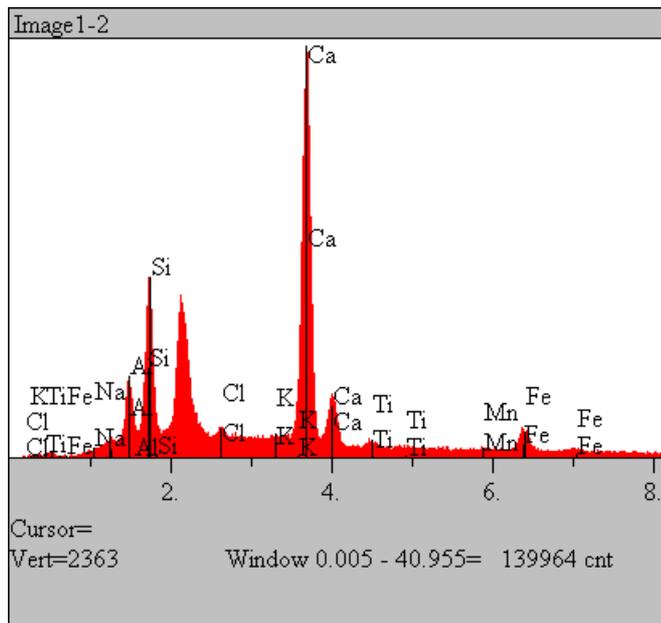


FIGURA 4.46 – EDS da matriz afastado da fibra, referente ao ponto 2 da FIGURA 4.44.



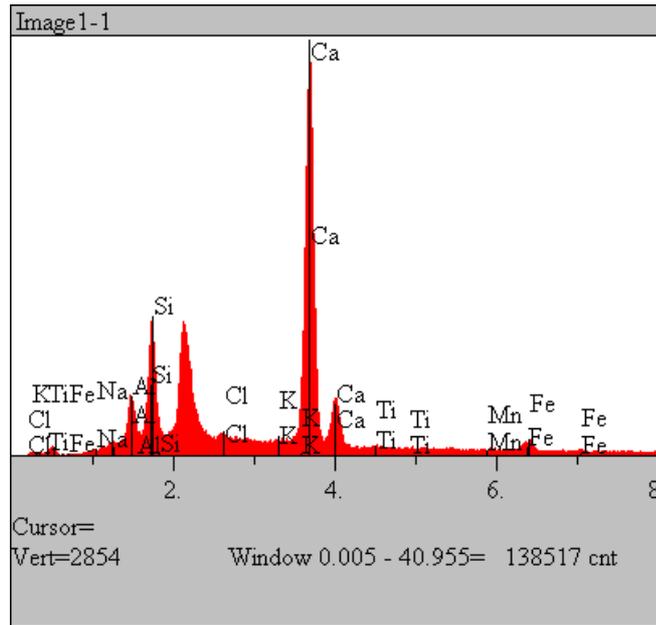


FIGURA 4.49 – EDS da matriz, referente ao ponto 1 da FIGURA 4.48.

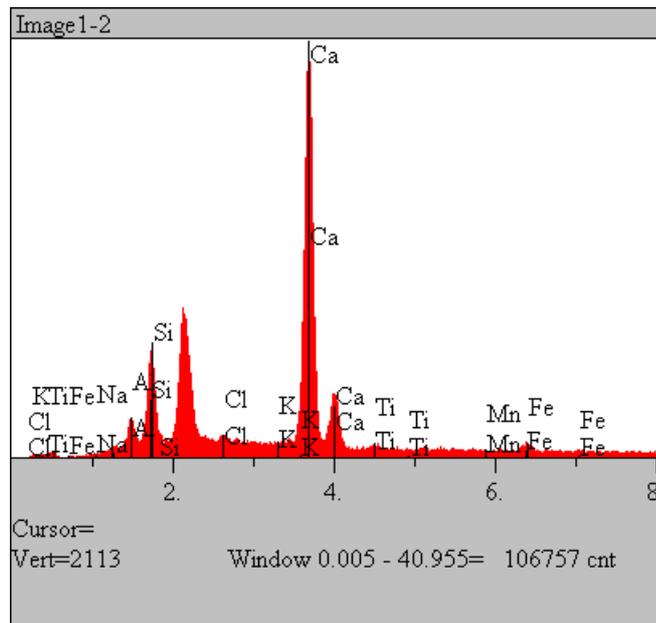


FIGURA 4.50 - EDS da matriz, referente ao ponto 2 da FIGURA 4.48.

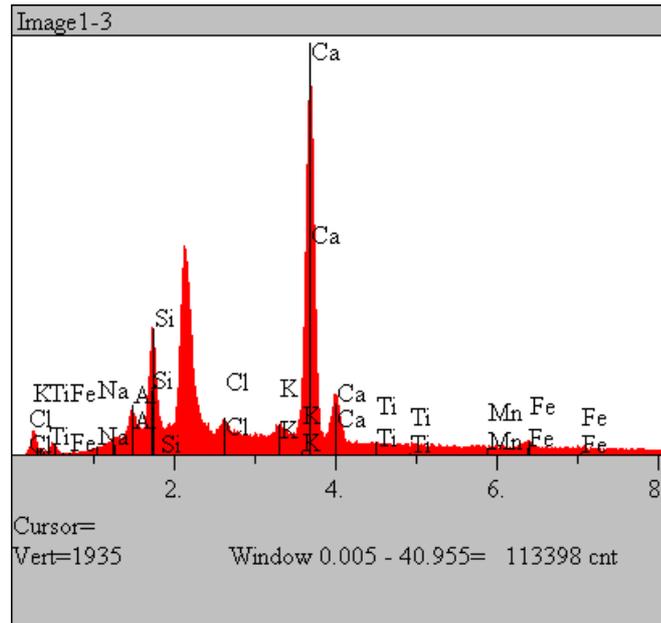


FIGURA 4.51 - EDS da matriz, referente ao ponto 3 da FIGURA 4.48.

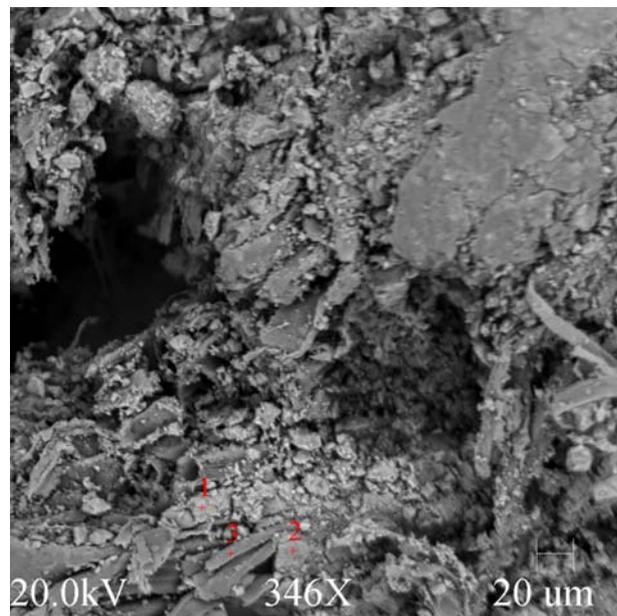


FIGURA 4.52 – Imagem de elétrons retroespalhados de uma chapa de Quaruba. Idade de hidratação 172 dias.

Os pontos indicados na Figura 4.52 pelos números 1, 2 e 3 foram os escolhidos para análise dos elementos químicos e estão mostrados nas Figuras (4.53, 4.54 e 4.55).

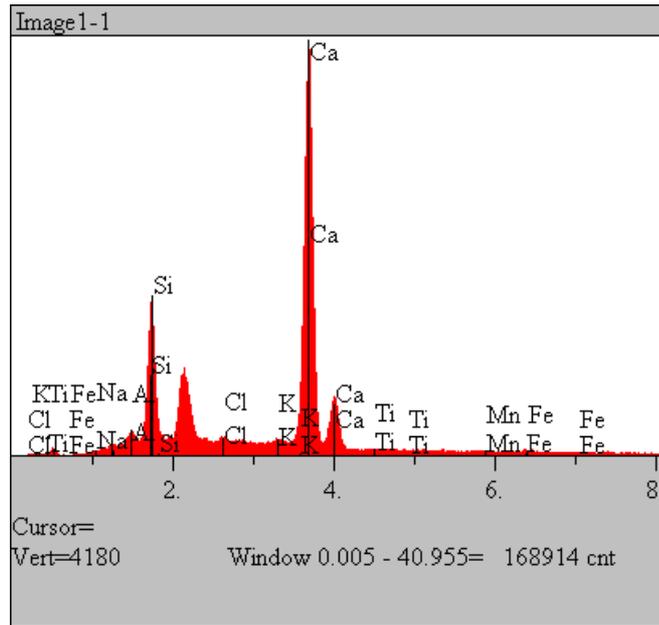


FIGURA 4.53 - EDS da matriz junto à fibra, referente ao ponto 1 da FIGURA 4.52.

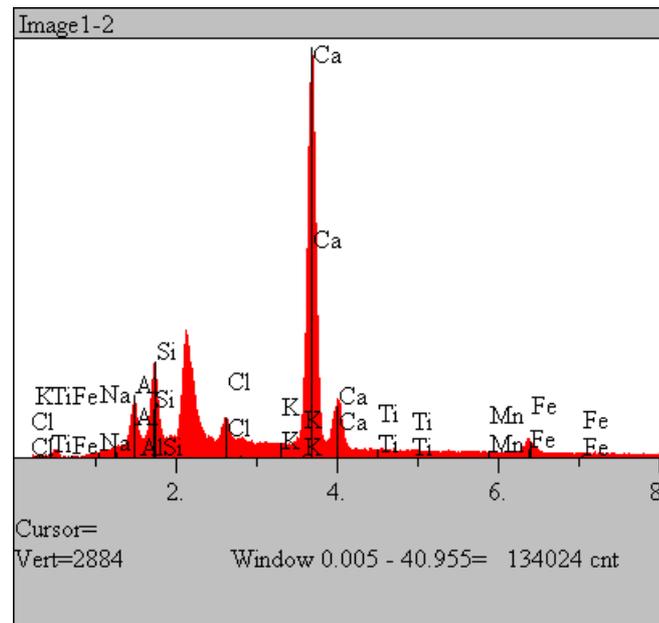


FIGURA 4.54 - EDS da matriz junto à fibra, referente ao ponto 2 da FIGURA 4.52.

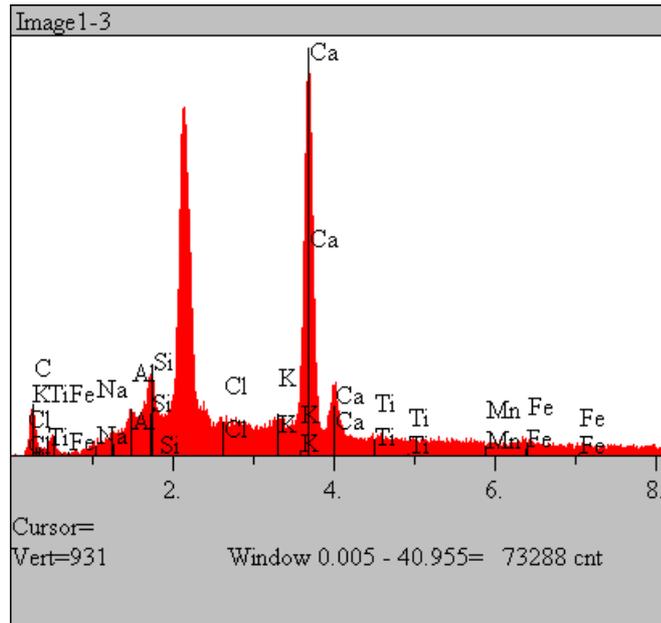


FIGURA 4.55 - EDS da matriz sobre a fibra, referente ao ponto 3 da FIGURA 4.52.

A microscopia eletrônica de varredura, por elétrons secundários, revelou um compósito de um modo geral poroso, com fibras descoladas em função da variação dimensional e preenchidas com produtos hidratados, que podem contribuir para o processo de petrificação das fibras.

A zona de transição apresentou-se de igual forma para todas as espécies de resíduos, diferenciada do restante da matriz. Esta apresentou alta porosidade, microfissuras atribuídas aos cristais de hidróxido de cálcio de menor resistência, que preenchem os espaços deixados pela água, e que apresentaram morfologia alterada pelas impurezas presente no sistema, características estas que podem se apresentar com intensidade diferenciada e que refletem no comportamento mecânico do compósito.

As análises de espectrometria de raios X por energia dispersiva (EDS), mostram elementos químicos comuns aos produtos de hidratação do cimento, com relação cálcio/silício (Ca/Si), com valores superiores a 2,0, (Apêndice H), indicando uma região com maior incidência do hidróxido de cálcio na zona de transição, comportamento também encontrado por (SAVASTANO JR., 1992).

As fibras vegetais por possuírem alta porosidade reúnem condições para formação de uma zona de transição muito porosa, pelo fluxo induzido da água em sua direção comprometendo a aderência fibra-matriz pelo descolamento da mesma.

#### 4.4 Indicativo do custo da chapa de cimento-madeira em relação à chapa de aglomerado

Para indicação do custo das chapas de cimento-madeira, com as chapas de madeira aglomerada apresentado na Tabela 4.2, foi considerado os consumos de material e mão de obra, (Apêndice G, Tabela 1G), tendo como referência de preços, o mês de março de 2006.

TABELA 4.2 – Indicativo de custo por m<sup>2</sup> de chapas de madeira aglomerada e cimento-madeira

CHAPA	CUSTO R\$/ m <sup>2</sup>
Chapa aglomerada 15mm comercial	10,60
Chapa aglomerada 18mm comercial	12,18
Chapa de cimento-madeira 16mm	13,72

A composição de custo da chapa de cimento-madeira fabricada em laboratório, apresenta espessura maior em 1mm que a chapa de aglomerado. No processo industrial poderão ser produzidas chapas de mesma espessura, assim como, o preço se ajustar à dimensão da chapa. Os valores de mão de obra foram estimados de acordo com o tempo gasto em processo artesanal em laboratório. O custo final por m<sup>2</sup> é uma estimativa, que deverá sofrer ajustes para o processo industrial. O custo para fabricação artesanal da chapa de cimento-madeira mostrou ser superior, ao custo da chapa industrializada de aglomerado, contudo a produção em série poderá diminuir ou anular esta diferença com o uso de equipamentos e mão de obra especializada.

#### 4.5 Comparação das propriedades mecânicas e físicas das chapas reconstituídas

Para avaliação do desempenho das chapas de cimento-madeira produzidas em laboratório, com resíduos utilizou-se como elemento de comparação, chapas de cimento-madeira industrializadas com dados fornecidos pelos fabricantes, e chapas de aglomerado de madeira, com propriedades obtidas em trabalhos de pesquisa. Os resultados são apresentados na Tabelas 4.3 a seguir:

TABELA 4.3 Propriedades mecânicas e físicas de chapas de madeira reconstituída

PROPRIEDADES MECÂNICAS					
Item	TIPO DE CHAPA E FABRICANTE	MOE (MPa)	MOR (MPa)	LIGAÇÃO INTERNA (MPa)	COMPRESSÃO PARALELA (MPa)
01	Cimento-madeira HZ - BISON	3.000	9,0	0,40	N.E.
02	CETRIS	4500	9,0	0,50	N.E.
03	Chapa de aglomerado <sup>(1)</sup>	2047	9,78	N.E.	8,91
04	Chapa de resíduo de Cedro <sup>(2)</sup>	<b>7733</b>	<b>9,17</b>	<b>1,60</b>	<b>15,66</b>
05	Chapa de resíduo de Jatobá <sup>(2)</sup>	<b>5217</b>	4,20	<b>1,53</b>	<b>20,91</b>
06	Chapa de resíduo Mistura <sup>(2)</sup>	<b>5613</b>	6,00	<b>1,19</b>	<b>14,75</b>
07	Chapa de resíduo de Quaruba <sup>(2)</sup>	<b>5338</b>	7,66	<b>1,35</b>	<b>15,62</b>
PROPRIEDADES FÍSICAS					
Item	TIPO DE CHAPA E FABRICANTE	DENSIDADE (g/cm <sup>3</sup> )	UMIDADE (%)	INCHAMENTO (%)	ABSORÇÃO (%)
01	Cimento-madeira HZ - BISON	1,20	9	1,2 a 1,8	N.E.
02	CETRIS	1,15 a 1,45	9 ± 3%	1,5	32
03	Chapa de aglomerado <sup>(1)</sup>	N.E.	N.E.	1,12	63,34
04	Chapa de resíduo de Cedro <sup>(2)</sup>	<b>1,33</b>	<b>9,19</b> <sup>(3)</sup>	<b>0,72</b>	<b>26,75</b>
05	Chapa de resíduo de Jatobá <sup>(2)</sup>	1,56	<b>9,68</b> <sup>(3)</sup>	<b>0,52</b>	<b>26,73</b>
06	Chapa de resíduo Mistura <sup>(2)</sup>	<b>1,40</b>	<b>9,52</b> <sup>(3)</sup>	<b>0,85</b>	<b>30,97</b>
07	Chapa de resíduo de Quaruba <sup>(2)</sup>	<b>1,43</b>	<b>7,70</b> <sup>(3)</sup>	<b>0,59</b>	<b>30,68</b>

(1) Resultados encontrados por Zucco (1999); (2) Valores médios. Valor em negrito da chapa de laboratório, que satisfaz aos especificados ou encontrados em pesquisas; (3) Seco ao ar; N.E. – Não especificado.

Para as propriedades mecânicas a chapa de cimento-madeira com resíduo de Cedro atendeu a todas as especificações do fabricante de chapas BISON, e CETRIS as demais espécies alcançaram valores inferiores de MOR.

A compressão paralela não é especificada como requisito para os fabricantes das chapas de cimento-madeira. Comparando esta propriedade com o da chapa aglomerada comercial encontramos superioridade em todas as espécies estudadas.

Para as propriedades físicas, somente a densidade das chapas fabricadas em laboratório foi maior que as de valor comercial, no processo BISON, o que é explicado pelo tipo de resíduo, que é proveniente de dicotiledôneas, que possuem massa específica maior que as coníferas usadas nas chapas comerciais. Porém, para o fabricante CETRIS, com exceção do Jatobá, as espécies restantes atenderam as especificações de densidade. As demais

propriedades físicas foram atendidas, superando inclusive o aglomerado de chapa reconstituída.

## Capítulo 5

### Conclusões

#### 5.1 Verificação da compatibilidade dos resíduos para escolha das espécies

Baseado nos resultados dos ensaios de compressão axial, os resíduos mostraram-se inibitórios quando usados ao natural;

O uso de lavagem influenciou de forma significativa somente à espécie Anani, que apresentou uma elevação de resistência à compressão axial de 123%, contudo o tratamento não atingiu os resultados alcançados, quando do uso dos aditivos;

O ensaio do percentual de extrativos solúveis em água, não justificou as diferenças encontradas nos ensaios de compressão axial;

As espécies utilizadas como matéria prima (dicotiledôneas) para confecção de chapas de cimento-madeira, necessitam de aditivo acelerador de pega;

O uso do aditivo acelerador de pega cloreto de cálcio, combinado com a lavagem do resíduo, superou o aditivo sulfato de alumínio mostrando-se eficaz para o processo de pega e endurecimento da pasta de cimento, além de produzir a maior resistência à compressão no compósito;

A variação do percentual do aditivo cloreto de cálcio, de 3% para 5%, levou a melhores resultados de resistência mecânica, exceto para espécie Angelim;

O ensaio de resistência à compressão axial mostrou ser um método eficiente de avaliação da compatibilidade entre o cimento e a madeira;

Baseado nos resultados dos ensaios de compressão axial, as espécies Cedro, Jatobá e Quaruba com uso combinado de lavagem e aditivo cloreto de cálcio a 5%, são as mais indicadas para fabricação de chapas de cimento-madeira dentre as estudadas.

## 5.2 Chapas de cimento-madeira com resíduos

Desde que superadas as deficiências de durabilidade os resíduos de madeira mostraram potencialidade para aplicação em chapas de cimento-madeira, para tanto se destaca a necessidade de pesquisas futuras.

Os resultados das propriedades físicas e mecânicas obtidas foram compatíveis com os reportados por outros pesquisadores da área. A grande variabilidade dos resultados é proveniente das características intrínsecas da madeira, posicionamento dos corpos-de-prova na chapa e a distribuição dos resíduos na argamassa.

As imagens de microscopia eletrônica de varredura confirmam a relação entre a zona de transição e as propriedades mecânicas dos compósitos, a qual, por sua vez, é função da aderência entre fibra e matriz, influenciando de forma significativa no seu desempenho.

A zona de transição apresentou-se com grande porosidade, alta concentração de portlandita gerada pelo acúmulo de água, descolamento das fibras pela variação dimensional, e microfissuras devidas a retração por secagem da matriz.

Os ensaios de difração por raios-X mostraram uma carbonatação nas chapas após 100 dias de cura, favorecendo o sistema pela maior densificação e diminuição do ambiente alcalino.

O desempenho das chapas com resíduo de Jatobá, com relação ao módulo de ruptura (MOR), não seguiu a tendência do resultado da compressão axial, o que pode ser explicado pela menor razão de compactação atingida pelo compósito.

A Mistura de espécies, de um modo geral, apresentou os resultados inferiores nas propriedades físicas (inchamento e absorção) e mecânicas (compressão paralela e ligação interna) que pode ter sido influenciado pelo uso de espécies, de massa específica diferentes, induzindo a uma menor razão de compactação da chapa.

A espécie Cedro, dentre as estudadas, apresentou os melhores resultados nas propriedades físicas e mecânicas, superando a especificação dos fabricantes de chapas, sendo, portanto a mais indicada para moldagem de chapas de cimento-madeira.

O custo artesanal da chapa de cimento-madeira foi superior a de aglomerado convencional, no entanto, a fabricação em escala industrial poderá favorecer a diminuição do custo, de modo a tornar competitiva a sua produção.

A utilização de resíduos industriais de madeira, na fabricação de novos produtos, harmoniza-se com o meio ambiente, agregando valor ao resíduo e diminuindo a pressão sobre o desmatamento.

### 6.3 Sugestões para trabalhos futuros

Devido a grande amplitude do tema pesquisado, algumas questões não foram abordadas e outras sugerem a ampliação dos estudos. Abaixo são sugeridos assuntos considerados relevantes.

- Utilização de faixas de granulometria, para verificação da influência nas propriedades físicas e mecânicas do compósito cimento-madeira;
- Estudo da durabilidade de materiais reforçados com fibras de espécies dicotiledôneas;
- Adição de polímeros para melhorar a durabilidade das fibras;
- Pesquisa com resíduos de espécies de baixa massa específica;
- Influência da razão de compactação no desempenho físico e mecânico das chapas;
- Descrever a composição percentual de vasos, fibras e parênquimas;
- Continuar pesquisas com maior número de espécies;
- Investigação de matrizes de baixa alcalinidade;
- Substituição parcial do cimento por sílica ativa.

## Capítulo 6

### Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. NBR 7215: **Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1996. 8p.

\_\_\_\_\_. NBR 7217: **Agregados: Determinação da composição granulométrica, método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1987. 3p.

\_\_\_\_\_. NBR 7251: **Agregado em estado solto: Determinação da massa unitária, método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1982. 3p.

\_\_\_\_\_. NBR 9776: **Agregados: Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman, método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1987. 3p.

\_\_\_\_\_. NBR 9939: **Agregados: Determinação do teor de umidade total, por secagem, em agregado graúdo**. Rio de Janeiro, 1987. 2p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL – ASTM. **Standard methods for evaluating properties of wood-based fiber and particle panel materials**. In: Annual Book of ASTM Standards, ASTM D1037-96. Philadelphia, May 1996.

BARROS, Paulo Luiz Contente; Silva, José Natalino Macedo; SARMENTO, Nilma Maria Macedo; KRONBAUER, Wagner R. **Novos coeficientes para converter volume geométrico ou volume Francon para madeira serrada a serem usados pelo IBAMA (PÀ)**. FCAP. Serviço de documentação e informação, 2002, Belém Pará. P.43-57.

BATISTA, Adão Marques. **A influência do tratamento em compósitos de cimento-madeira**. Projeções. V. 19/20, p. 1-3, jan. /dez. 2001/2002.

BERALDO, Antonio L.; BARTHOLOMEU, André; BATISTA, Adão M.; FAGUNDES, Antonio C.; ROLIM, Mário M.; SEGANTINI, Anderson A. **VIABILIDADE DE FABRICAÇÃO DE COMPÓSITOS RESÍDUOS DE MADEIRAS E CIMENTO PORTLAND (CBC)**. In: Reciclagem de resíduos como materiais de construção civil. 1996, São Paulo. Anais... São Paulo: ANTAC. PCC-USP, 1996. p. 77-82.

BERALDO, Antonio L.; ARRUDA, Ana C. de; STANCATO, Augusto C.; SAMPAIO, Carlos A. P.; FERNANDES FILHO, Orlando; LEONEL, Vânia M. **Compósitos à base de resíduos vegetais e cimento portland**. In: VIII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estrutura de Madeira. Uberlândia. Julho 2002.

BERALDO, Antonio L. & CARVALHO José Vitório. **Portland cement - *Eucalyptus grandis* composite**. SCIENTIA FORESTALIS. N 65, p. 150-161, jun. 2004.

BIBLIS, E. J. & LO, C. F. **Sugars and other wood extractives: effect on the setting of Southern pine-cement mixtures**. Forest Products Journal. V. 18, n. 8, p. 28-34, 1968.

BISON WOOD-CEMENT BOARD. **Bison – Report**. 1978. 10 p.

BORDINI, Michelle C. Pegorini; MENDOZA, Zaíra Hurtado; FINGER; Zenezio; LOGSDON, Norman Barros. **Caracterização dendrológica, física e química da Madeira de carvão vermelho, *Diptychandra aurantiaca (mart.) Tul.*** Madeira: arquitetura e engenharia. Revista da Escola de Engenharia de São Carlos/USP, São Carlos, n. 12, jan/abr, 2004. CD-ROM

CAMPOS, Cristiane I.; BERALDO, Antonio Ludovico; HELLMEISTER, João Cézar. **Caracterização mecânica de compósito cimento-madeira de reflorestamento (*Cunninghamia lanceolata* Hook).**São Carlos, 1999. Disponível em: < <http://www.remade.com.br/artigos/materiais.php?artigo=cimento-madeira> > : Acesso em 15/05/2004.

CETRIS. **CEMENT BONDED PARTICLEBOARD.** < [www.cetris.cz](http://www.cetris.cz) > : acesso em 15/05/2004.

CHAPOLA, G. B. J. **Effect of curing heat, alkali and cement set in cement particleboard on the visco-elastic properties of chip mattresses.** Wood Science and Tecnology, vol. 23, p. 131-138, 1989.

ELEOTÉRIO, Jackson Roberto. **Propriedades Físicas e Mecânicas de Painéis MDF de Diferentes Densidades e Teores de Resina.** 150p. Dissertação (mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo, 2000. Piracicaba São Paulo.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 310- Particleboards and Fiberboards – Determination of modulus of elasticity in bending and bending strength.** Bruxelas: 1993. Versão portuguesa NP EN 310, 2000.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 317- Particleboards and Fiberboards – Determination of swelling in thickness after immersion in water:** Bruxelas: 1993. Versão portuguesa NP EN 317, 2000.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 319- Particleboards and Fiberboards – Determination of internal adhesion.** Bruxelas: 1993. Versão portuguesa NP EN 319, 2000.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 322- Particleboards and Fiberboards – Determination of humidity.** Bruxelas: 1993. Versão portuguesa NP EN 322, 2000.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 323- Particleboards and Fiberboards – Determination of density.** Bruxelas: 1993. Versão portuguesa NP EN 323, 2000.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 326-1 Particleboards and Fiberboards – Sampling, cutting and inspection.** Bruxelas: 1994. Versão portuguesa NP EN 326, 2000.

GEIMER, Robert; SOUZA, Mario Rabelo; MOSLEMI, Ali A. **Low density cement-bonded wood composites made conventionally and with carbon dioxide injection**. DRVNA INDUSTRIJA, 47 (2) 55-62, 1966.

GONÇALVES, Marcos Tadeu T.; RUFFINO, Rosalvo Tiago. **Aproveitamento do Resíduo Gerado na Indústria Madeireira**. III EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. Anais. USP – EESC. São Carlos, SP. 1989. p 129 a 140.

GRANDI, L. A. C. **Placas pré-moldadas de argamassa de cimento e pó de serra**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 1995. 128 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). – Departamento de Construções Rurais, Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP.

HACHMI, M.; MOSLEMI, A. A.; CAMPBELL, A. G. **A new technique to classify the compatibility of wood with cement**. Wood Science and Technology. V. 24, p. 345-354, 1990.

HOFSTRAND, A. D.; MOSLEMI, A. A.; Garcia, J. F. **Curing characteristics of wood particles from nine northern Rocky Mountain species mixed with Portland cement**. Forest Products Journal. V. 34, n. 2, p. 57-61, 1984.

Homepage ANU. **Cement Bonded Wood Composites**. Disponível em: < <http://ssres.anu.edu.au/associated/fpt/cfb/contente.html> >: Acesso em 15/10/2003.

IWAKIRI, Setsuo; CUNHA Alexandro Bayestorf; ALBUQUERQUE, Carlos Eduardo Camargo; GORNIAC, Elianice; MENDES, Lourival Marin. **Resíduos de Serrarias na Produção de Painéis de Madeira Aglomerada de Eucalipto**. Scientia Agrária, v. 1, n. 1-2, p. 23-28, 2000.

IWAKIRI, Setsuo; SILVA, José Raimundo Moreira; MATOSKI, Selma Lúcia Schmidin; LEONHADT, Gabriela; CARON, José **Produção de Chapas de Madeira Aglomerada de Cinco Espécies**. Floresta e Ambiente. V. 8, n. 1, p. 137-142, jan/dez 2001.

LATORRACA, João Vicente de Figueiredo. **Eucalyptus spp. Na produção de painéis cimento-madeira**. 2000. 182 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

\_\_\_\_\_. **Painéis cimento-madeira: características e aplicações**. Revista da madeira, São Paulo, n. 71, maio 2003.

LATORRACA, João Vicente & IWAKIRI, Setsuo. **Efeito do tratamento das partículas de Eucalyptus dunnii (Maid), da variação da relação madeira-cimento e do uso de aditivos sobre as propriedades físicas e mecânicas de chapas de cimento-madeira**. CERNE. V.6, n.1, p. 68-76, 2000.

\_\_\_\_\_. **Efeito da cura a vapor sobre as propriedades mecânicas de painéis cimento-madeira**. Floresta e Ambiente. V. 8, n. 1, p. 84-93, jan./dez. 2001.

LEE, A. W. C.; HONG, Zhongli; PHILLIPS, Douglas R.; HSE, Chung Y. **Effect of cement/wood ratios and wood storage conditions on hydration temperature, hydration**

**time, and compressive strength of wood-cement mixtures.** Wood and Fiber Science. V. 19 (3), 1987, p. 262-268.

LEE, A. W. C.; SHORT, P. H. **Pretreating hardwood for cement-bonded excelcior board.** Forest Products Journal. V.39, n. 10, p. 68-70, 1989.

LEE, Andy W. C. & HSE, Chung Y. **Evaluation of cement-Excelcior Boards made from Yellow-Poplar and Sweetgum.** Departament of Forest Resources, Clemson University. Clemson, jun. 1999, p. 565-571.

LENTINI, Marco; PEREIRA, Denys; CELENTANO, Danielle; PEREIRA, Ritaumaria. **Fatos Florestais da Amazônia 2005.** Belém: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia, 2005. 140p. ISBN 85-86212-15-6.

LEPAGE, E. S. In: **MANUAL DE PRESERVAÇÃO DE MADEIRAS.** São Paulo: IPT, 1986, p. 69-97.

LIN, X.; SILSBEE, D. M.; ROY, D. M.; KESSLER, K; BLANKENNHORN, P. R. **Approaches to Improve the Properties of Wood Fiber Reinforced Cementitious Composites.** Cement and Concrete Research. Vol. 24, n. 8, p. 1558-1566. 1994.

MENDES, Lourival Marin; MENDES, Soraya Aparecida; IWAKIRI, Setsuo; ABREU, Luciana Barbosa; MORI, Fabio Akira; SILVA, José Reinaldo Moreira da. **Eucalyptus spp. Na Produção de Painéis OSB (Oriented Strand Board).** IN: IX Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. Cuiabá-julho 2004, 14p.

METHA, Provindar Kumar & MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** 1ª edição, São Paulo: editora PINI, 1994.

MILLER, D. Paul & MOSLEMI, Ali A. **Wood-cement composites: species and heartwood-sapwood effects on hydration and tensile strength.** Forest Products Journal. vol. 41, n. 3, p. 9-14, 1991.

MOSLEMI, A. A.; GARCIA, J. F.; HOFSTRAND, A. D. **Effect of various treatments and additives on wood-portland cement-water systems.** Wood and Fiber Science. V. 15, n.2, p. 164-176, 1983.

MOSLEMI, A. A.; LIM, Y. T. **Compatibility of Southern hardwoods with Portland Cement.** Forest Products Journal. v.34, n. 7/8, p. 22-26. 1984.

MOSLEMI, A. A.; PFISTER, Stephen C. **The influence of cement/wood ratio and cement type on bending strength and dimensional stability of wood-cement composite panels.** Wood and Fiber Science. V.19, n.2 p. 165-175, 1987.

NASCIMENTO, Maria de Fátima do et al. **Chapas de partículas produzidas com madeira da caatinga do Nordeste.** Revista da Madeira – Painéis: Edição Especial, p. 72 a 77. Ed. Remade. Curitiba. 2003.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** Ed. Pini, 2ª Edição, São Paulo, 1997.

OKINO, Esmeralda Yoshico Arakaki; SOUZA, Mário Rabelo; SANTANA, Marcos Antonio Eduardo; SOUSA, Maria Eliete; TEIXEIRA, Divino Eterno. **Chapa Aglomerada de Cimento-madeira de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg.** Revista Árvore. Viçosa-MG, v.28, n. 3, p. 451-457, 2004.

PIMENTEL, Lia Lorena. **Telhas onduladas à base de cimento portland e resíduos de *Pinus caribaea*.** 2000, 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo.

RAMÍREZ, Sarmiento Cecília S. & FREIRE, Wesley J. **Tratamentos aplicados ao bagaço de cana-de-açúcar visando sua utilização para fins de material de construção.** In: Reciclagem de resíduos como materiais de construção civil. 1996, São Paulo. Anais... São Paulo: ANTAC. PCC-USP, 1996. p. 131-136.

RASHWAN, M. S.; HATZINICOLAS, M.; ZMAVC, R. **Development of a lightweight, low-cost concrete block using wood residue.** Forest Products Journal. V.42, n. 5, p. 57-64, 1992.

REFERÊNCIA, Revista do Setor Madeireiro. **Resíduo de Madeira parte 2.** A sobra que vale ouro. Curitiba, Ed. Jota Comunicação, 2003.

SAVASTANO JÚNIOR, Holmer. **Zona de transição entre fibras e a pasta de cimento portland: caracterização e inter-relação com as propriedades mecânicas do compósito.** 1992. 209 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SAVASTANO JÚNIOR, Holmer & AGOPYAN, Vahan. **Microestrutura x desempenho dos compósitos reforçados com fibras vegetais.** In: Reciclagem de resíduos como materiais de construção civil. 1996, São Paulo. Anais... São Paulo: ANTAC. PCC-USP, 1996. p. 153-158.

SAVASTANO JÚNIOR, Holmer; WARDEN, P. G.; COUTTS, R. S. P. **Brasilian waste fibres as reinforcement for cement-based composites.** Cement & Concrete Composites. 22 (2000) p. 379-384.

SAVASTANO JÚNIOR, Holmer. **Utilização de Resíduos na Construção Habitacional.** Coletânea Habitare, V. 4, p. 94-123, 2004.

SILVA, José de Castro. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira.** 2002. 180 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

TEIXEIRA, Divino Eterno; GUIMARÃES, Tânia Lucia. **Tratamento de partículas de *Acácia mearnsii* De Wild. Para produção de chapas de cimento-madeira.** Brasília: IBAMA – DIRPED – LPF. Serie Técnica 11, 1989.

TEIXEIRA, Divino Eterno; ALVES, Marcus Vinícius da Silva; Costa, Alexandre Florian; Souza, Nilton Goulart. **Características de chapas de cimento-madeira com partículas de seringueira (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg) tratadas com CCA.** Floresta e Ambiente. V. 8, n. 1, p. 18-26, jan. /dez. 2001.

TEIXEIRA, Marcelo Geraldo **Aplicação de conceitos da ecologia industrial para a produção de materiais ecológicos: o exemplo do resíduo de madeira.**/ Marcelo Geraldo Teixeira. – Salvador, 2005. 159 p. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo). – Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica, 2005.

TOLEDO FILHO, Romildo; GHAVAMI, Khosrow; ENGLAND, Geogr L.; Scrvenner, Karen. **Development of vegetable fibre-mortar composites of improved durability.** *Cement & Concrete Composites*, 25 (2003) p. 185-196.

VICAR, R. Mac. MATUANA, L. M.; BALATINECZ, J. J. **Aging mechanisms in cellulose fiber reinforced cement composites.** *Cement & Concrete Composites*. 21 (1999), p. 189-196.

WARDEN, P. E. G.; SAVASTANO JÚNIOR, H.; COUTTS, R. S. P. **Fibre Cement Composites from Brazilian Agricultural and Industrial Waste Materials.** In: *Wood-cement composites in the Asia-Pacific Region, Australia*, on 10 December 2000, chapter 1, p. 55-61.

WOLFE, Ronald W. & GJINOLLI, Agron. **Cement-Bonded Wood Composites as an Engineering Material. Use of Recycled Wood and Paper in Building Applications.** Disponível em: < [www.fpl.fs.fed.us/documents/PDF1997/wolfe97a.pdf](http://www.fpl.fs.fed.us/documents/PDF1997/wolfe97a.pdf) >. Acesso em 15 dez. 2003.

\_\_\_\_\_. **Durability and Strength of Cement-Bonded Wood Particle Composites Made From Construction Waste.** *Forest Products Journal*. v. 49, n. 2, p. 24-31. Feb. 1999.

WOOD PANEL INDUSTRIES FEDERATION- WPIF. **PANEL GUIDE (2004).** Disponível em: < [www.Wpif.org.uk/pg/Annex2c.pdf](http://www.Wpif.org.uk/pg/Annex2c.pdf) >. Acesso em 19 ago.2004.

ZHENG TIAN, L.; MOSLEMI, A. A. **Influence of chemical additives on the hydration characteristics of western larch wood-cement-water mixtures.** *Forest Products Journal*. v. 35, n. 7, p. 37-43, 1985.

WEATHERWAX, R. C. & TARKOW, H. **Effect of wood on setting of Portland cement.** *Forest Products Journal*. v. 14, n. 12, p. 567-570, 1964.

ZUCCO, L. L. **Estudo da viabilidade de fabricação de placas de compósitos à base de cimento e casca de arroz.** 1999. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

## Apêndice A - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

TABELA 1A -Peneiras utilizadas

Peneiras, aberturas nominais (mm)	Diâmetro aproximado dos fios (mm)
19	3
9,5	2
4,8	1
2,4	0,8
1,2	0,5
0,6	0,3
0,3	0,2
0,15	0,1

TABELA 2A – Distribuição granulométrica do resíduo de Anani média de três repetições

Espécie: Anani Natural				Espécie: Anani Lavado			
Peneiras	% Retida	% Acumulada	% Passante	Peneiras	% Retida	% Acumulada	% Passante
19	0	0	100	19	0	0	100,00
9,5	30	30	70	9,5	23	23	77
4,8	34	64	36	4,8	40	63	37
2,4	16	80	20	2,4	18	81	19
1,2	8	88	12	1,2	10	91	9
0,6	5	93	7	0,6	4	95	5
0,3	3	96	4	0,3	2	97	3
0,15	3	99	1	0,15	2	99	1
Fundo	1	100	0	Fundo	1	100,00	0
Total	100,00			Total	100,00		
DMC = 19mm		MF = 5,50		DMC = 19mm		MF = 5,49	
Graduação NBR 7217		Muito grossa		Graduação NBR 7217		Muito grossa	

TABELA 3A – Distribuição granulométrica do resíduo de Angelim média de três repetições

Espécie: Angelim Natural				Espécie: Angelim Lavado			
Peneiras	% Retida	% Acumulada	% Passante	Peneiras	% Retida	% Acumulada	% Passante
19	0	0	100	19	0	0	100
9,5	1	1	99	9,5	1	1	99
4,8	28	29	71	4,8	26	27	73
2,4	34	63	37	2,4	35	62	38
1,2	18	81	19	1,2	26	88	12
0,6	10	91	9	0,6	8	96	4
0,3	5	96	4	0,3	2	98	2
0,15	3	99	1	0,15	1	99	1
Fundo	1	100	0	Fundo	1	100	0
Total	100			Total			
DMC = 19mm		MF = 4,60		DMC = 19mm		MF = 4,71	
Graduação NBR 7217		Muito grossa		Graduação NBR 7217		Muito grossa	

TABELA 4A – Distribuição granulométrica do resíduo de Cedro média de três repetições

Espécie: Cedro Natural				Espécie: Cedro Lavado			
Peneiras	% Retida	% Acumulada	% Passante	Peneiras	% Retida	% Acumulada	% Passante
19	0	0	100	19	0	0	100
9,5	15	15	85	9,5	6	6	94
4,8	49	64	36	4,8	39	45	55
2,4	18	82	18	2,4	32	77	23
1,2	10	92	8	1,2	13	90	10
0,6	4	96	4	0,6	5	95	5
0,3	2	98	2	0,3	2	97	3
0,15	1	99	1	0,15	2	99	2
Fundo	1	100	0	Fundo	1	100	0
Total	100			Total	100		
DMC = 19		MF = 5,46		DMC = 19		MF = 5,09	
Graduação NBR 7217		Muito grossa		Graduação NBR 7217		Muito grossa	

TABELA 5A – Distribuição granulométrica do resíduo de Jatobá media de três repetições

Espécie: Jatobá Natural				Espécie: Jatobá Lavado			
Peneiras	% Retida	% Acumulada	% Passante	Peneiras	% Retida	% Acumulada	% Passante
19	0	0	100	19	0	0	100
9,5	3	3	97	9,5	2	2	98
4,8	31	34	66	4,8	28	30	70
2,4	35	69	31	2,4	35	65	35
1,2	20	89	11	1,2	25	90	10
0,6	7	96	4	0,6	7	97	3
0,3	2	98	2	0,3	2	99	1
0,15	1	99	1	0,15	1	100	0
Fundo	1	100	0	Fundo	0	100	0
Total	100			Total	100		
DMC = 19mm		MF = 5,88		DMC = 19mm		MF = 4,83	
Graduação NBR 7217		Muito grossa		Graduação NBR 7217		Muito grossa	

TABELA 6A – Distribuição granulométrica do resíduo da Mistura média de três repetições

Espécie: Mistura Natural				Espécie: Mistura Lavada			
Peneiras	% Retida	% Acumulada	% Passante	Peneiras	% Retida	% Acumulada	% Passante
19	0	0	100	19	0	0	100
9,5	15	15	85	9,5	7	7	93
4,8	46	61	39	4,8	39	46	54
2,4	14	75	25	2,4	22	68	32
1,2	11	86	14	1,2	18	86	14
0,6	6	92	8	0,6	7	93	7
0,3	4	96	4	0,3	3	96	4
0,15	3	99	1	0,15	3	99	1
Fundo	1	100	0	Fundo	1	100	1
Total	100			Total	100		
DMC = 19mm		MF = 5,24		DMC = 19mm		MF = 4,95	
Graduação NBR 7217		Muito grossa		Graduação NBR 7217		Muito grossa	

TABELA 7A – Distribuição granulométrica do resíduo de Quaruba média de três repetições

Espécie: Quaruba Natural				Espécie: Quaruba Lavada			
Peneiras	% Retida	% Acumulada	% Passante	Peneiras	% Retida	% Acumulada	% Passante
19	15	0	100	19	0	0	100
9,5	48	15	85	9,5	13	13	87
4,8	19	63	37	4,8	42	55	45
2,4	9	82	18	2,4	24	79	21
1,2	4	91	9	1,2	10	89	11
0,6	2	95	5	0,6	6	95	5
0,3	2	97	3	0,3	2	97	3
0,15	1	99	1	0,15	2	99	1
Fundo	100	100	0	Fundo	1	100	0
Total				Total	100		
DMC = 19mm		MF = 5,42		DMC = 19mm		MF = 5,27	
Graduação NBR 7117		Muito grossa		Graduação NBR 7117		Muito grossa	

TABELA 8A – Distribuição granulométrica do resíduo de Tauari média de três repetições

Espécie:				Espécie:			
Peneiras	% Retida	% Acumulada	% Passante	Peneiras	% Retida	% Acumulada	% Passante
19	0	0	100	19	0	0	100
9,5	1	1	99	9,5	1	1	99
4,8	47	48	52	4,8	27	28	72
2,4	24	72	28	2,4	37	65	36
1,2	18	90	10	1,2	23	88	13
0,6	7	97	3	0,6	8	96	5
0,3	2	99	1	0,3	3	99	2
0,15	1	100	0	0,15	1	100	1
Fundo	0	100	0	Fundo	0	100	0
Total	100			Total	100		
DMC = 19mm		MF = 5,07		DMC =		MF = 4,77	
Graduação NBR 7117		Muito grossa		Graduação NBR 7117		Muito grossa	

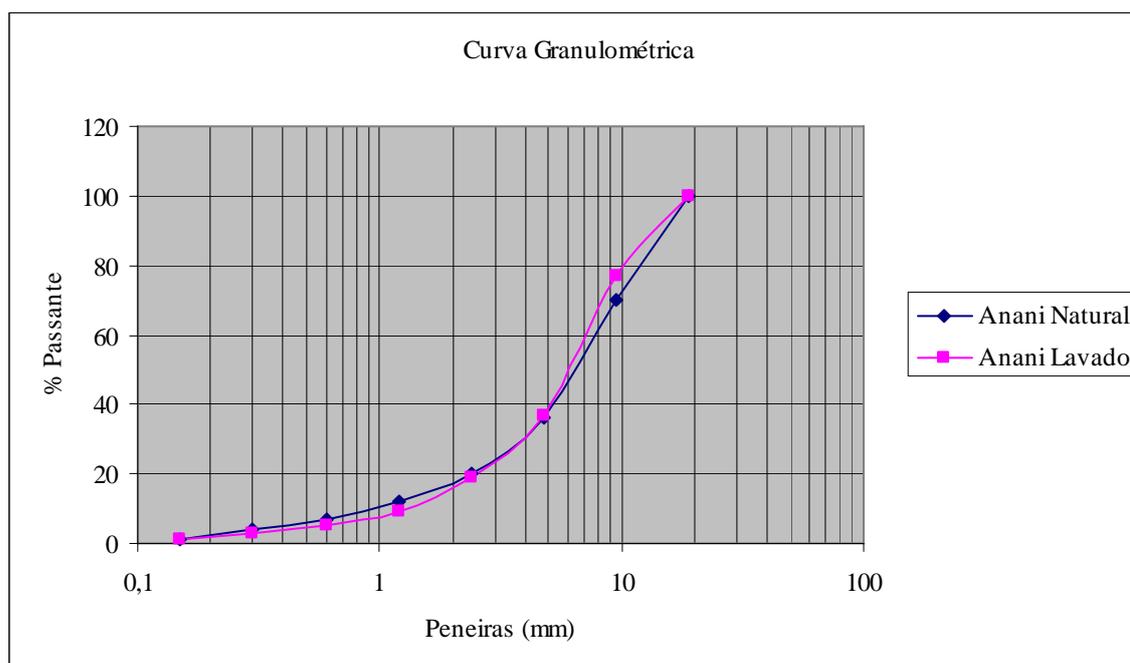


FIGURA 1A – Curva granulométrica do resíduo de Anani

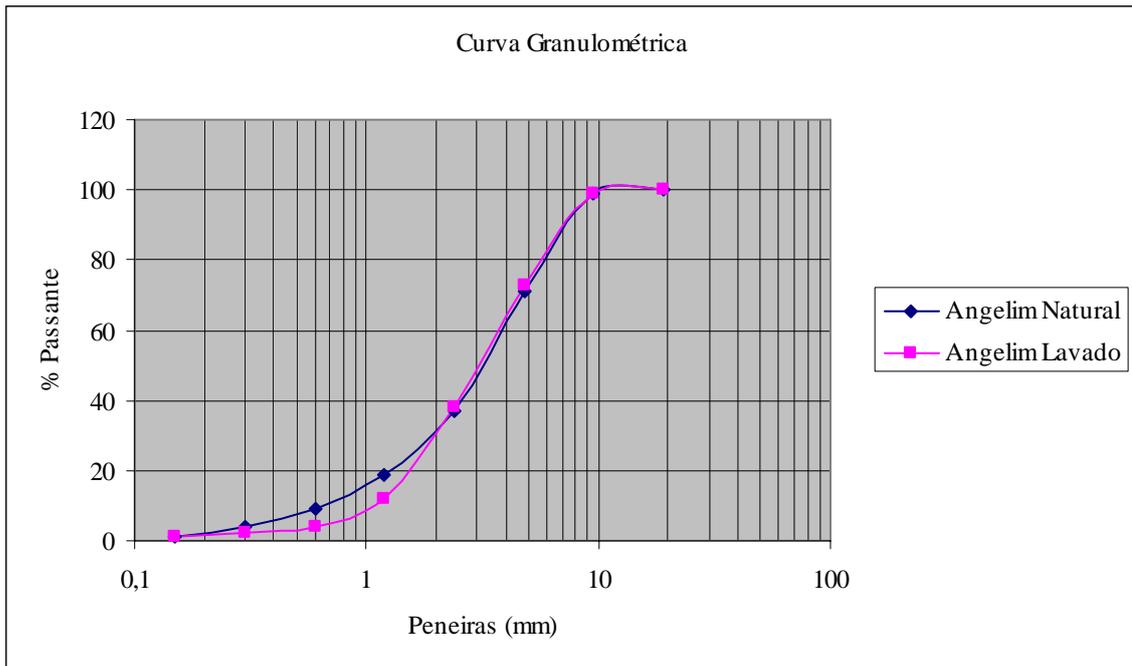


FIGURA 2A – Curva granulométrica do resíduo de Angelim

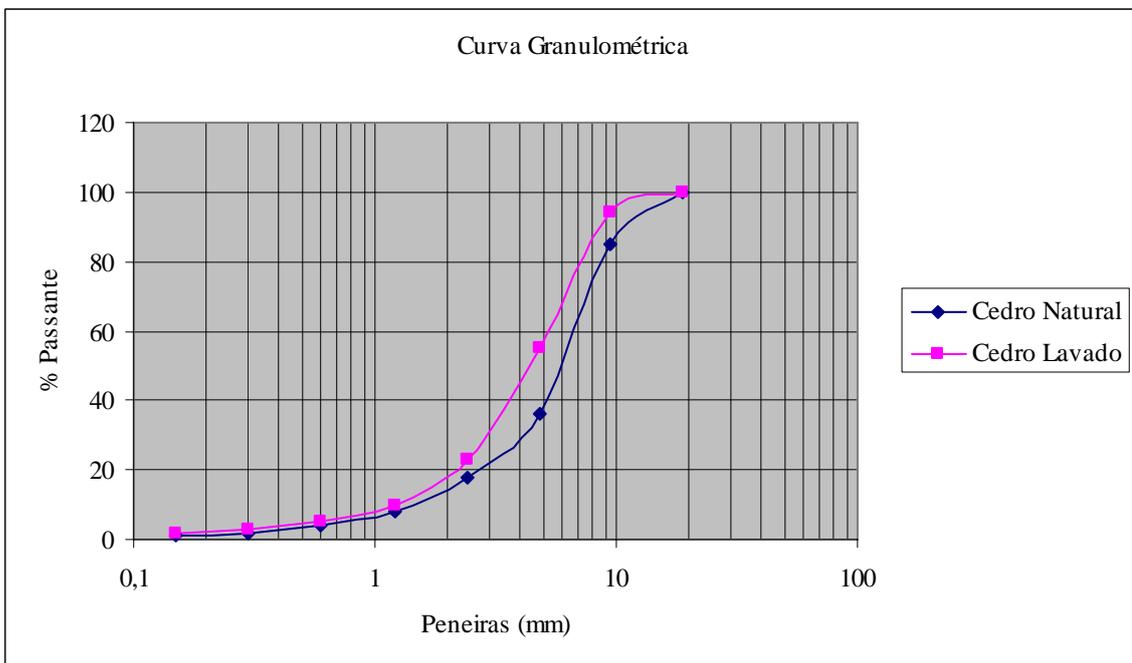


FIGURA 3A – Curva granulométrica do resíduo de Cedro

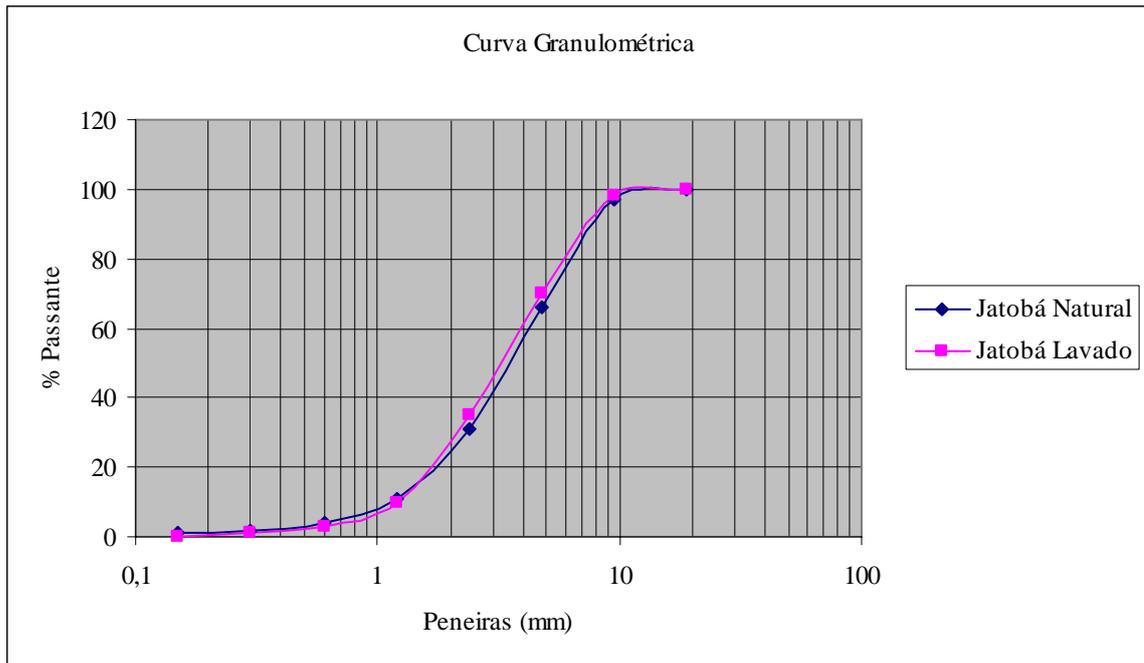


FIGURA 4A – Curva granulométrica do resíduo de Jatobá

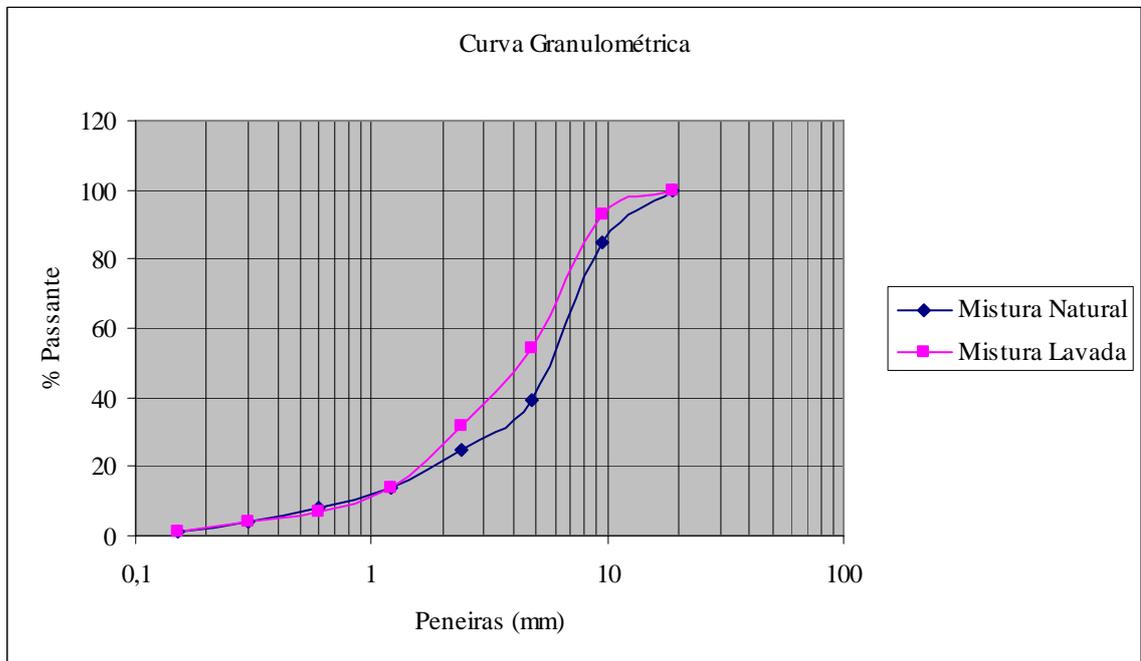


FIGURA 5A – Curva granulométrica do resíduo de Mistura das espécies

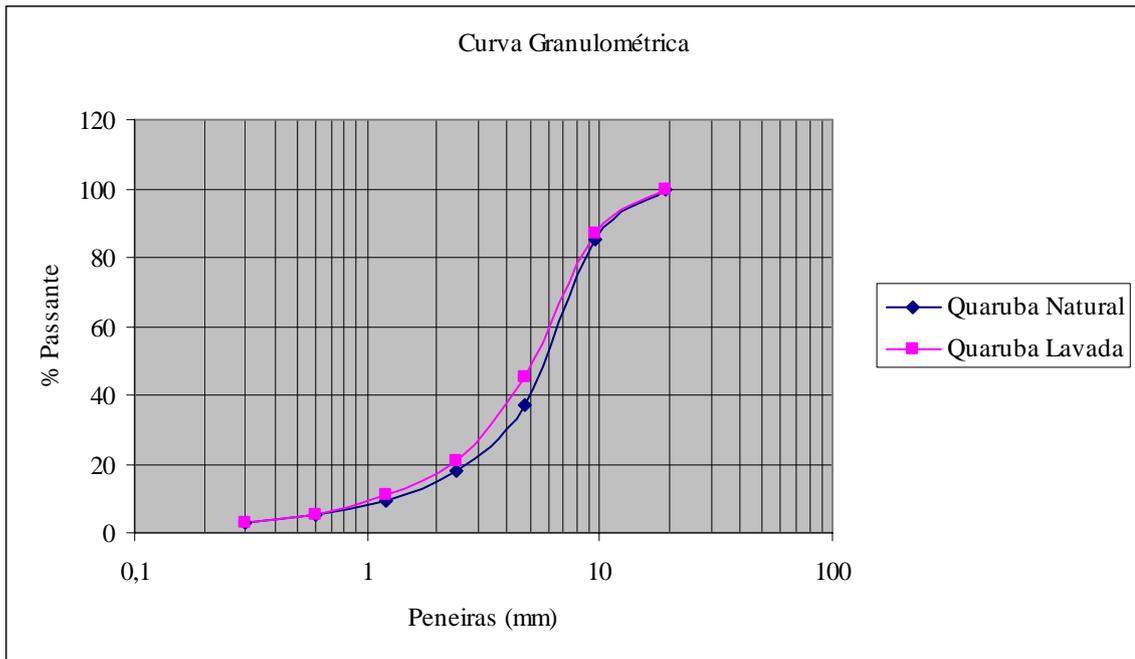


FIGURA 6A – Curva granulométrica do resíduo de Quaruba

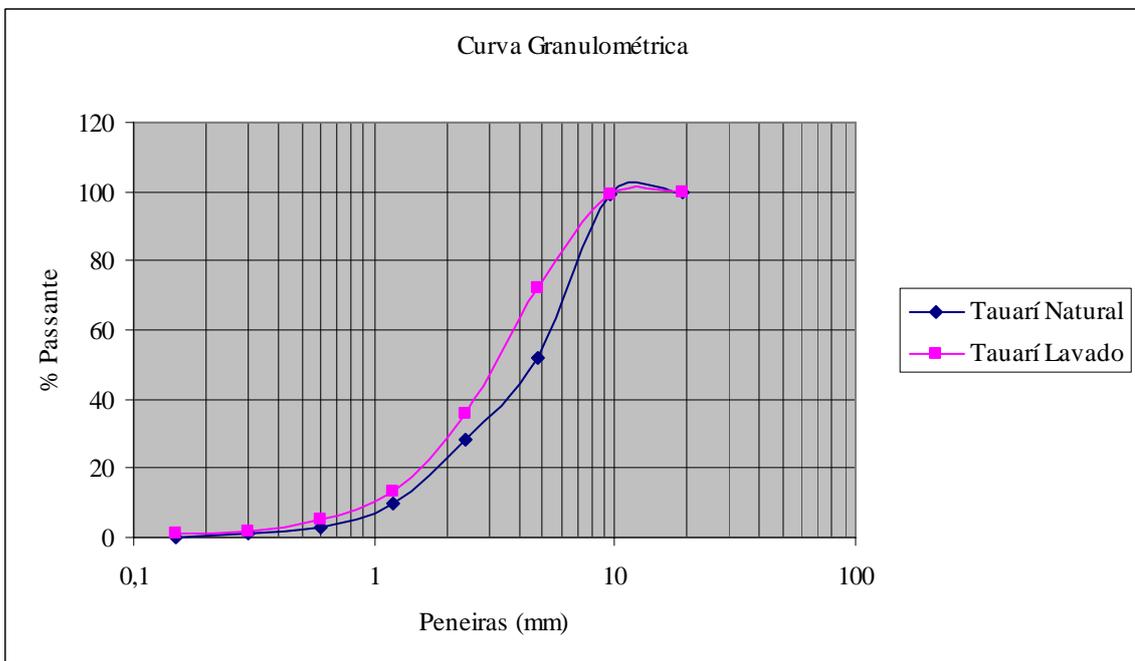


FIGURA 7A – Curva granulométrica do resíduo de Tauari

## Apêndice B – VERIFICAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DOS RESÍDUOS PARA ESCOLHA DAS ESPÉCIES

TABELA 1B – Ensaio de resistência à compressão axial em corpos de prova 50x100mm de Anani natural

Nº CP	Relação cimento/madeira	Espécie	Tratamento	Relação a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio relativo %
1	3:1	Anani	Natural	0,5	1,85	3,64
2					1,72	3,64
3					1,85	3,64
4					1,72	3,64
Desvio relativo máximo						6
Média					1,78	

TABELA 2B - Ensaio de resistência à compressão axial em corpos de prova 50x100mm de Anani lavado

Nº CP	Relação cimento/madeira	Espécie	Tratamento	Relação a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio relativo %
1	3:1	Anani	Lavado	0,5	4,08	3,88
2					4,08	3,88
3					3,70	5,79
4					3,85	1,97
Desvio relativo máximo						6
Média					3,93	

TABELA 3B - Ensaio de resistência à compressão axial em corpos de prova 50x100mm de Anani 3% sulfato

Nº CP	Relação cimento/madeira	Espécie	Tratamento	Relação a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio relativo %
1	3:1	Anani	Lavado Sulfato de alumínio 3%	0,5	6,71	2,64
2					7,17	4,03
3					7,21	4,61
4					6,48	5,98
Desvio relativo máximo						6
Média					6,89	

TABELA 4B - Ensaio de resistência à compressão axial em corpos de prova 50x100mm de Anani 3% cloreto

Nº CP	Relação cimento/madeira	Espécie	Tratamento	Relação a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio relativo %
1	3:1	Anani	Lavado Cloreto de cálcio 3%	0,5	4,54	5,17
2					5,02	4,86
3					4,59	4,12
4					5,00	4,43
Desvio relativo máximo						6
Média					4,79	

TABELA 5B - Ensaio de resistência à compressão axial em corpos de prova 50x100mm de Anani 5% cloreto

Nº CP	Relação cimento/madeira	Espécie	Tratamento	Relação a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio relativo %
1	3:1	Anani	Lavado	0,5	8,51	3,15
2			Cloreto de		8,70	0,99
3			cálcio 5%		8,86	0,82
4					9,08	3,33
Desvio relativo máximo						6
Média					8,79	

TABELA 6B - Ensaio de resistência à compressão axial em corpos de prova 50x100mm de Angelim natural

Nº CP	Relação cimento/madeira	Espécie	Tratamento	Relação a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio relativo %
1	3:1	Angelim	Natural	0,5	0,57	4,60
2					0,60	0,42
3					0,59	1,25
4					0,63	5,44
Desvio relativo máximo						6
Média					0,60	

TABELA 7B - Ensaio de resistência à compressão axial em corpos de prova 50x100mm de Angelim lavado

Nº CP	Relação cimento/madeira	Espécie	Tratamento	Relação a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio relativo %
1	3:1	Angelim	Lavado	0,5	0,97	2,64
2					0,95	0,53
3					0,93	1,59
4					0,93	1,59
Desvio relativo máximo						6
Média					0,94	

TABELA 8B - Ensaio de resistência à compressão axial em corpos de prova 50x100mm de Angelim 3% sulfato

Nº CP	Relação cimento/madeira	Espécie	Tratamento	Relação a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio relativo %
1	3:1	Angelim	Lavado Sulfato de alumínio 3%	0,5	5,00	2,56
2					5,15	5,64
3					4,66	4,41
4					4,69	3,79
Desvio relativo máximo						6
Média					4,87	

TABELA 9B - Ensaio de resistência à compressão axial em corpos de prova 50x100mm de Angelim 3% cloreto

Nº CP	Relação cimento/madeira	Espécie	Tratamento	Relação a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio relativo %
1	3:1	Angelim	Lavado Cloreto de cálcio 3%	0,5	10,83	5,50
2					12,06	5,23
3					10,93	4,62
4					12,02	4,89
Desvio relativo máximo						6
Média					11,46	

TABELA 10B - Ensaio de resistência à compressão axial em corpos de prova 50x100mm de Angelim 5% cloreto

Nº CP	Relação cimento/madeira	Espécie	Tratamento	Relação a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio relativo %
1	3:1	Angelim	Lavado Cloreto de cálcio 5%	0,5	5,55	4,88
2					5,65	3,17
3					6,08	4,20
4					6,06	3,86
Desvio relativo máximo						6
Média					5,83	

TABELA 11B - Ensaio de resistência à compressão axial em corpos de prova 50x100mm de Cedro natural

Nº CP	Relação cimento/madeira	Espécie	Tratamento	Relação a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio relativo %
1	3:1	Cedro	natural	0,6	2,17	1,03
2					2,17	1,03
3					2,29	4,45
4					2,14	2,39
Desvio relativo máximo						6
Média					2,19	

TABELA 12B - Ensaio de resistência à compressão axial em corpos de prova 50x100mm de Cedro lavado

Nº CP	Relação cimento/madeira	Espécie	Tratamento	Relação a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio relativo %
1	3:1	Cedro	lavado	0,6	2,10	8,59
2					2,36	2,72
3					2,44	6,20
4					2,29	0,33
Desvio relativo máximo						6
Média					2,28	

TABELA 13B - Ensaio de resistência à compressão axial em corpos de prova 50x100mm de Cedro 3% sulfato

Nº CP	Relação cimento/madeira	Espécie	Tratamento	Relação a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio relativo %
1	3:1	Cedro	Lavado Sulfato de alumínio 3%	0,6	2,97	7,08
2					2,98	7,08
3					2,59	6,92
4					2,59	6,92
Desvio relativo máximo						6
Média					2,78	

TABELA 14B - Ensaio de resistência à compressão axial em corpos de prova 50x100mm de Cedro 3% cloreto

Nº CP	Relação cimento/madeira	Espécie	Tratamento	Relação a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio relativo %
1	3:1	Cedro	Lavado cloreto de cálcio 3%	0,6	9,61	5,75
2					8,89	2,17
3					9,08	0,08
4					8,77	3,49
Desvio relativo máximo						6
Média					9,09	

TABELA 15B - Ensaio de resistência à compressão axial em corpos de prova 50x100mm de Cedro 5% cloreto

Nº CP	Relação cimento/madeira	Espécie	Tratamento	Relação a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio relativo %
1	3:1	Cedro	Lavado cloreto de cálcio 5%	0,6	9,73	1,69
2					9,84	5,80
3					9,84	5,80
4					10,18	2,85
Desvio relativo máximo						6
Média					9,90	

TABELA 16B - Ensaio de resistência à compressão axial em corpos de prova 50x100mm de Jatobá natural

Nº CP	Relação cimento/madeira	Espécie	Tratamento	Relação a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio relativo %
1	3:1	Jatobá	natural	0,5	1,12	4,67
2					1,07	0,00
3					1,02	4,67
4					1,07	0,00
Desvio relativo máximo						6
Média					1,07	

TABELA 17B - Ensaio de resistência à compressão axial em corpos de prova 50x100mm de Jatobá lavado

Nº CP	Relação cimento/madeira	Espécie	Tratamento	Relação a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio relativo %
1	3:1	Jatobá	lavado	0,5	1,26	4,18
2					1,32	0,38
3					1,32	0,38
4					1,36	3,42
Desvio relativo máximo						6
Média					1,31	

TABELA 18B - Ensaio de resistência à compressão axial em corpos de prova 50x100mm de Jatobá 3% sulfato

Nº CP	Relação cimento/madeira	Espécie	Tratamento	Relação a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio relativo %
1	3:1	Jatobá	Lavado Sulfato de alumínio 3%	0,5	6,64	4,90
2					7,02	5,37
3					7,25	3,83
4					7,02	0,53
Desvio relativo máximo						6
Média					6,98	

TABELA 19B - Ensaio de resistência à compressão axial em corpos de prova 50x100mm de Jatobá 3% de cloreto

Nº CP	Relação cimento/madeira	Espécie	Tratamento	Relação a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio relativo %
1	3:1	Jatobá	Lavado Cloreto de cálcio 3%	0,5	12,28	1,00
2					12,59	3,56
3					11,85	2,53
4					11,91	2,03
Desvio relativo máximo						6
Média					12,16	

TABELA 20B - Ensaio de resistência à compressão axial em corpos de prova 50x100mm de Jatobá 5% cloreto

Nº CP	Relação cimento/madeira	Espécie	Tratamento	Relação a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio relativo %
1	3:1	Jatobá	Lavado Cloreto de cálcio 5%	0,5	19,53	5,32
2					21,59	4,67
3					19,88	3,62
4					21,51	4,28
Desvio relativo máximo						6
Média					20,63	

TABELA 21B - Ensaio de resistência à compressão axial em corpos de prova 50x100mm de Mistura natural

Nº CP	Relação cimento/madeira	Espécie	Tratamento	Relação a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio relativo %
1	3:1	Mistura	Natural	0,5	2,09	3,34
2					2,04	0,86
3					1,98	2,10
4					1,98	2,10
Desvio relativo máximo						6
Média					2,02	

TABELA 22B - Ensaio de resistência à compressão axial em corpos de prova 50x100mm de Mistura lavada

Nº CP	Relação cimento/madeira	Espécie	Tratamento	Relação a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio relativo %
1	3:1	Mistura	lavado	0,5	3,43	5,53
2					3,13	3,69
3					3,32	2,15
4					3,12	4,00
Desvio relativo máximo						6
Média					3,25	

TABELA 23B - Ensaio de resistência à compressão axial em corpos de prova 50x100mm de Mistura 3% sulfato

Nº CP	Relação cimento/madeira	Espécie	Tratamento	Relação a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio relativo %
1	3:1	mistura	Lavado Sulfato de alumínio 3%	0,5	2,94	3,05
2					3,20	5,52
3					3,01	0,74
4					2,98	1,73
Desvio relativo máximo						6
Média					3,03	

TABELA 24B - Ensaio de resistência à compressão axial em corpos de prova 50x100mm de Mistura 3% cloreto

Nº CP	Relação cimento/madeira	Espécie	Tratamento	Relação a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio relativo %
1	3:1	Mistura	Lavado Cloreto de cálcio 3%	0,5	9,23	5,30
2					8,47	3,36
3					8,28	5,53
4					9,08	3,59
Desvio relativo máximo						6
Média					8,76	

TABELA 25B - Ensaio de resistência à compressão axial em corpos de prova 50x100mm de Mistura 5% cloreto

Nº CP	Relação cimento/madeira	Espécie	Tratamento	Relação a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio relativo %
1	3:1	Mistura	Lavado Cloreto de cálcio 5%	0,5	7,78	3,44
2					7,79	3,32
3					8,01	0,59
4					8,65	7,35
Desvio relativo máximo						6
Média					8,06	

TABELA 26B - Ensaio de resistência à compressão axial em corpos de prova 50x100mm de Quaruba natural

Nº CP	Relação cimento/madeira	Espécie	Tratamento	Relação a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio relativo %
1	3:1	Quaruba	Natural	0,5	2,63	1,86
2					2,75	2,66
3					2,71	1,12
4					2,63	1,86
Desvio relativo máximo						6
Média					2,68	

TABELA 27B - Ensaio de resistência à compressão axial em corpos de prova 50x100mm de Quaruba lavada

Nº CP	Relação cimento/madeira	Espécie	Tratamento	Relação a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio relativo %
1	3:1	Quaruba	Lavada	0,5	2,98	5,86
2					2,71	3,73
3					2,75	2,31
4					2,82	0,18
Desvio relativo máximo						6
Média					2,81	

TABELA 28B - Ensaio de resistência à compressão axial em corpos de prova 50x100mm de Quaruba 3% sulfato

Nº CP	Relação cimento/madeira	Espécie	Tratamento	Relação a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio relativo %
1	3:1	Quaruba	Lavada Sulfato de alumínio 3%	0,5	2,67	1,52
2					2,78	5,70
3					2,48	5,70
4					2,59	1,52
Desvio relativo máximo						6
Média					2,63	

TABELA 29B - Ensaio de resistência à compressão axial em corpos de prova 50x100mm de Quaruba 3% cloreto

Nº CP	Relação cimento/madeira	Espécie	Tratamento	Relação a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio relativo %
1	3:1	Quaruba	Lavada Cloreto de cálcio 3%	0,5	13,85	2,95
2					13,62	1,24
3					13,16	2,17
4					13,18	2,02
Desvio relativo máximo						6
Média					13,45	

TABELA 30B - Ensaio de resistência à compressão axial em corpos de prova 50x100mm de Quaruba 5% cloreto

Nº CP	Relação cimento/madeira	Espécie	Tratamento	Relação a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio relativo %
1	3:1	Quaruba	Lavada Cloreto de cálcio 5%	0,5	14,62	1,43
2					15,34	3,42
3					14,09	5,00
4					15,28	3,01
Desvio relativo máximo						6
Média					14,83	

TABELA 31B - Ensaio de resistência à compressão axial em corpos de prova 50x100mm de Tauarí natural

Nº CP	Relação cimento/madeira	Espécie	Tratamento	Relação a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio relativo %
1	3:1	Tauarí	natural	0,5	3,47	0,28
2					3,59	3,16
3					3,47	0,28
4					3,39	2,59
Desvio relativo máximo						6
Média					3,48	

TABELA 32B - Ensaio de resistência à compressão axial em corpos de prova 50x100mm de Tauarí lavado

Nº CP	Relação cimento/madeira	Espécie	Tratamento	Relação a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio relativo %
1	3:1	Tauarí	lavado	0,5	3,78	4,85
2					3,59	0,42
3					3,62	0,41
4					3,43	4,85
Desvio relativo máximo						6
Média					3,60	

TABELA 33B - Ensaio de resistência à compressão axial em corpos de prova 50x100mm de Tauarí 3% sulfato

Nº CP	Relação cimento/madeira	Espécie	Tratamento	Relação a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio relativo %
1	3:1	Tauarí	Lavado Sulfato de alumínio 3%	0,5	4,81	4,47
2					5,22	3,67
3					4,81	4,47
4					5,30	5,26
Desvio relativo máximo						6
Média					5,03	

TABELA 34B - Ensaio de resistência à compressão axial em corpos de prova 50x100mm de Tauarí 3% cloreto

Nº CP	Relação cimento/madeira	Espécie	Tratamento	Relação a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio relativo %
1	3:1	Tauarí	Lavado Cloreto de cálcio 3%	0,5	6,75	5,59
2					7,35	2,80
3					7,10	0,70
4					7,40	3,5
Desvio relativo máximo						6
Média					7,15	

TABELA 35B - Ensaio de resistência à compressão axial em corpos de prova 50x100mm de Tauarí 5% cloreto

Nº CP	Relação cimento/madeira	Espécie	Tratamento	Relação a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio relativo %
1	3:1	Tauarí	Lavado Cloreto de cálcio 5%	0,5	7,21	4,87
2					6,57	4,44
3					7,21	4,87
4					6,51	5,31
Desvio relativo máximo						6
Média					6,87	

## Apêndice C – ANOVA DO ESTUDO DE COMPRESSÃO AXIAL

### APÊNDICE 1C – ANOVA DO ESTUDO DO TIPO DE TRATAMENTO

TABELA 1C – Análise de variância para variável compressão axial do fator tratamento para a espécie Anani

Espécie: Anani					Tratamento	
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>natural</i>	<i>lavado</i>
Natural	4	7,14	1,785	0,005633		MPa
Lavado	4	15,71	3,9275	0,034758	1,85	4,08
					1,72	4,08
					1,85	3,70
					1,72	3,85
ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	9,180613	1	9,180613	454,5795	6,94E-07	5,987374
Dentro dos grupos	0,121175	6	0,020196			
Total	9,301788	7				

TABELA 2C – Análise de variância para variável compressão axial do fator tratamento para a espécie Angelim

Espécie: Angelim					tratamento	
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>natural</i>	<i>lavado</i>
Natural	4	2,39	0,5975	0,000625		MPa
Lavado	4	3,78	0,945	0,000367	0,57	0,97
					0,6	0,95
					0,59	0,93
					0,63	0,93
ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,241513	1	0,241513	487,084	5,66E-07	5,987374
Dentro dos grupos	0,002975	6	0,000496			
Total	0,244488	7				

TABELA 3C – Análise de variância para variável compressão axial do fator tratamento para a espécie Cedro

Espécie: Cedro					Tratamento	
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>natural</i>	<i>lavado</i>
Natural	4	8,77	2,1925	0,004425		MPa
Lavado	4	9,19	2,2975	0,021092	2,17	2,10
					2,17	2,36
					2,29	2,44
					2,14	2,29
ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,02205	1	0,02205	1,728282	0,236644	5,987374
Dentro dos grupos	0,07655	6	0,012758			
Total	0,0986	7				

TABELA 4C – Análise de variância para variável compressão axial do fator tratamento para a espécie Jatobá

Espécie: Jatobá					Tratamento	
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>Natural</i>	<i>Lavado</i>
Natural	4	4,28	1,07	0,001667		MPa
Lavado	4	5,26	1,315	0,0017	1,12	1,26
					1,07	1,32
					1,02	1,36
					1,07	1,32
ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,12005	1	0,12005	71,31683	0,000151	5,987374
Dentro dos grupos	0,0101	6	0,001683			
Total	0,13015	7				

TABELA 5C – Análise de variância para variável compressão axial do fator tratamento para a espécie Mistura

Espécie: Mistura					Tratamento	
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>natural</i>	<i>lavado</i>
Natural	4	8,09	2,0225	0,002825		MPa
Lavado	4	13	3,25	0,022867	2,09	3,43
					2,04	3,13
					1,98	3,32
					1,98	3,12
ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	3,013513	1	3,013513	234,5907	4,89E-06	5,987374
Dentro dos grupos	0,077075	6	0,012846			
Total	3,090588	7				

TABELA 6C – Análise de variância para variável compressão axial do fator tratamento para a espécie Quaruba

Espécie: Quaruba					Tratamento	
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>Natural</i>	<i>lavado</i>
Natural	4	10,72	2,68	0,0036		MPa
Lavada	4	11,26	2,815	0,014167	2,63	2,98
					2,75	2,71
					2,71	2,75
					2,63	2,82
ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,03645	1	0,03645	4,103189	0,089202	5,987374
Dentro dos grupos	0,0533	6	0,008883			
Total	0,08975	7				

TABELA 7C – Análise de variância para variável compressão axial do fator tratamento para a espécie Tauari

Espécie: Tauari					Tratamento	
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>natural</i>	<i>lavado</i>
Natural	4	13,92	3,48	0,0068	MPa	
Lavado	4	14,42	3,605	0,020567	3,47	3,78
					3,59	3,59
					3,47	3,62
ANOVA					3,39	3,43
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,03125	1	0,03125	2,2838	0,181482	5,987374
Dentro dos grupos	0,0821	6	0,013683			
Total	0,11335	7				

**APÊNDICE 2C – ANOVA DO ESTUDO DO ADITIVO ACELERADOR DE PEGA**

TABELA 8C – Análise de variância para variável compressão axial do fator aditivo para a espécie Anani

ESPÉCIE: Anani					Aditivo	
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>sulfato</i>	<i>cloreto</i>
Sulfato 3%	4	27,57	6,8925	0,127092		MPa
Cloreto 3%	4	19,15	4,7875	0,066492	6,71	4,54
					7,17	5,02
					7,21	4,59
ANOVA					6,48	5,00
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	8,86205	1	8,86205	91,55799	7,44E-05	5,987374
Dentro dos grupos	0,58075	6	0,096792			
Total	9,4428	7				

TABELA 9C – Análise de variância para variável compressão axial do fator aditivo para espécie Angelim

ESPÉCIE: Angelim					Aditivo	
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>sulfato</i>	<i>cloreto</i>
Sulfato 3%	4	19,5	4,875	0,057233		MPa
Cloreto 3%	4	45,84	11,46	0,450467	5,00	10,83
					5,15	12,06
					4,66	10,93
ANOVA					4,69	12,02
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	86,72445	1	86,72445	341,6366	1,62E-06	5,987374
Dentro dos grupos	1,5231	6	0,25385			
Total	88,24755	7				

TABELA 10C – Análise de variância para variável compressão axial do fator aditivo para espécie Cedro

Espécie: Cedro					Aditivo	
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>Sulfato 3%</i>	<i>Cloreto 3%</i>
Sulfato 3%	4	11,13	2,7825	0,049425		MPa
Cloreto 3%	4	36,35	9,0875	0,137625	2,97	9,61
					2,98	8,89
					2,59	9,08
ANOVA					2,59	8,77
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	79,50605	1	79,50605	850,1048	1,08E-07	5,987374
Dentro dos grupos	0,56115	6	0,093525			
Total	80,0672	7				

TABELA 11C – Análise de variância para variável compressão axial do fator aditivo para a espécie Jatobá

ESPÉCIE: Jatobá					Aditivo	
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>sulfato</i>	<i>cloreto</i>
Sulfato 3%	4	27,93	6,9825	0,063892		MPa
Cloreto 3%	4	48,63	12,1575	0,119292	7,02	12,28
					7,25	12,59
					7,02	11,85
					6,64	11,91
ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	53,56125	1	53,56125	584,783	3,29E-07	5,987374
Dentro dos grupos	0,54955	6	0,091592			
Total	54,1108	7				

TABELA 12C – Análise de variância para variável compressão axial do fator aditivo para espécie Mistura

ESPÉCIE: Mistura					Aditivo	
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>sulfato</i>	<i>sulfato</i>	<i>cloreto</i>
Sulfato 3%	4	12,13	3,0325	0,013292		MPa
Cloreto 3%	4	35,06	8,765	0,212567	2,94	9,23
					3,20	8,47
					3,01	8,28
					2,98	9,08
ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	65,72311	1	65,72311	581,9853	3,33E-07	5,987374
Dentro dos grupos	0,677575	6	0,112929			
Total	66,40069	7				

TABELA 13C – Análise de variância para variável compressão axial do fator aditivo para a espécie Quaruba

ESPÉCIE: Quaruba					Aditivo	
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>sulfato</i>	<i>cloreto</i>
Sulfato 3%	4	10,52	2,63	0,016067		MPa
Cloreto 3%	4	53,81	13,4525	0,115292	2,67	13,85
					2,78	13,62
					2,48	13,16
					2,59	13,18
ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	234,253	1	234,253	3566,626	1,48E-09	5,987374
Dentro dos grupos	0,394075	6	0,065679			
Total	234,6471	7				

TABELA 14C – Análise de variância para variável compressão axial do fator aditivo para espécie Tauari

ESPÉCIE: Tauari					Aditivo	
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>sulfato</i>	<i>cloreto</i>
Sulfato 3%	4	20,14	5,035	0,068567		MPa
Cloreto 3%	4	28,6	7,15	0,088333	4,81	6,75
					5,22	7,35
					4,81	7,1
ANOVA					5,30	7,4
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	8,94645	1	8,94645	114,0402	3,98E-05	5,987374
Dentro dos grupos	0,4707	6	0,07845			
Total	9,41715	7				

### APÊNDICE 3C - ANOVA DO ESTUDO DO PERCENTUAL DO ADITIVO CLORETO

TABELA 15C – Análise de variância para variável compressão axial do fator aditivo cloreto de cálcio para a espécie Anani

Espécie: Anani					Aditivo	
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>cloreto 3%</i>	<i>cloreto 5%</i>
Cloreto 3%	4	19,15	4,7875	0,066492		MPa
Cloreto 5%	4	35,15	8,7875	0,058492	4,54	8,51
					5,02	8,70
					4,59	8,86
ANOVA					5	9,08
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	32	1	32	512,0683	4,88E-07	5,987374
Dentro dos grupos	0,37495	6	0,062492			
Total	32,37495	7				

TABELA 16C – Análise de variância para variável compressão axial do fator aditivo cloreto de cálcio para espécie Angelim

Espécie: Angelim					Aditivo	
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>Cloreto 3%</i>	<i>cloreto 5%</i>
Cloreto 3%	4	45,84	11,46	0,450467		MPa
Cloreto 5%	4	23,34	5,835	0,075367	10,83	5,55
					12,06	5,65
					10,93	6,08
ANOVA					12,02	6,06
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	63,28125	1	63,28125	240,6894	4,54E-06	5,987374
Dentro dos grupos	1,5775	6	0,262917			
Total	64,85875	7				

TABELA 17C – Análise de variância para variável compressão axial do fator aditivo cloreto de cálcio para a espécie Cedro

Espécie: Cedro					Aditivo	
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>Cloreto 3%</i>	<i>Cloreto 5%</i>
Cloreto 3%	4	36,35	9,0875	0,137625		MPa
Cloreto 5%	4	39,59	9,8975	0,038158	9,61	9,73
					8,89	9,84
					9,08	9,84
ANOVA					8,77	10,18
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1,3122	1	1,3122	14,92974	0,008325	5,987374
Dentro dos grupos	0,52735	6	0,087892			
Total	1,83955	7				

TABELA 18C – Análise de variância para variável compressão axial do fator percentual de aditivo cloreto de cálcio para a espécie Jatobá

Espécie: Jatobá					Aditivo	
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>cloreto 3%</i>	<i>cloreto 5%</i>
Cloreto 3%	4	48,63	12,1575	0,119292		MPa
Cloreto 5%	4	82,51	20,6275	1,156158	12,28	19,53
					12,59	21,59
					11,85	19,88
					11,91	21,51
ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	143,4818	1	143,4818	224,9901	5,53E-06	5,987374
Dentro dos grupos	3,82635	6	0,637725			
Total	147,3082	7				

TABELA 19C – Análise de variância para variável compressão axial do fator aditivo cloreto de cálcio para a espécie Mistura

Espécie: Mistura					Aditivo	
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>cloreto 3%</i>	<i>cloreto 5%</i>
Cloreto 3%	4	35,06	8,765	0,212567		MPa
Cloreto 5%	4	32,23	8,0575	0,167292	9,23	7,78
					8,47	7,79
					8,28	8,01
					9,08	8,65
ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1,001113	1	1,001113	5,270978	0,061448	5,987374
Dentro dos grupos	1,139575	6	0,189929			
Total	2,140688	7				

TABELA 20C – Análise de variância para variável compressão axial do fator aditivo cloreto de cálcio para a espécie Quaruba

Espécie: Quaruba					Aditivo	
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>cloreto 3%</i>	<i>cloreto 5%</i>
Cloreto 3%	4	53,81	13,4525	0,115292		MPa
Cloreto 5%	4	59,33	14,8325	0,351425	13,62	14,62
					13,85	15,34
					13,16	14,09
					13,18	15,28
ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	3,8088	1	3,8088	16,32168	0,006803	5,987374
Dentro dos grupos	1,40015	6	0,233358			
Total	5,20895	7				

TABELA 21C– Análise de variância para variável compressão axial do fator aditivo cloreto de cálcio para a espécie Tauari

Espécie: Tauari					Aditivo	
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>cloreto 3%</i>	<i>cloreto 5%</i>
Cloreto 3%	4	28,6	7,15	0,088333		MPa
Cloreto 5%	4	27,5	6,875	0,150233	6,75	7,21
					7,35	6,57
					7,10	7,21
					7,40	6,51
ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,15125	1	0,15125	1,267989	0,303158	5,987374
Dentro dos grupos	0,7157	6	0,119283			
Total	0,86695	7				

#### APÊNDICE 4C – ANOVA DO ESTUDO DA ESPÉCIE

TABELA 22C - Análise de variância da variável compressão axial do fator espécie para o aditivo sulfato de alumínio a 3%

##### RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Jatobá	4	27,93	6,9825	0,063892
Angelim	4	19,5	4,875	0,057233
Cedro	4	49,94	12,485	0,259567
Tauari	4	20,14	5,035	0,068567
Anani	4	27,57	6,8925	0,127092
Quaruba	4	10,52	2,63	0,016067
Mistura	4	12,13	3,0325	0,013292

##### ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	264,705	6	44,1175	509,8534	1,27E-21	2,572712
Dentro dos grupos	1,817125	21	0,08653			
Total	266,5221	27				

TABELA 23C - Análise de variância da variável compressão axial do fator espécie para o aditivo cloreto de cálcio a 3%

##### RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Jatobá	4	48,63	12,1575	0,119292
Angelim	4	45,84	11,46	0,450467
Cedro	4	36,35	9,0875	0,137625
Tauari	4	28,6	7,15	0,088333
Anani	4	19,15	4,7875	0,066492
Quaruba	4	53,81	13,4525	0,115292
Mistura	4	35,06	8,765	0,212567

##### ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	219,7927	6	36,63212	215,471	9,6E-18	2,572712
Dentro dos grupos	3,5702	21	0,17001			
Total	223,3629	27				

TABELA 24C - Análise de variância da variável compressão axial do fator espécie para o aditivo cloreto de cálcio a 5%

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Jatobá	4	82,51	20,6275	1,156158
Angelim	4	23,34	5,835	0,075367
Cedro	4	39,59	9,8975	0,038158
Tauarí	4	27,5	6,875	0,150233
Anani	4	35,15	8,7875	0,058492
Quaruba	4	59,33	14,8325	0,351425
Mistura	4	32,23	8,0575	0,167292

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	660,8644	6	110,1441	386,0592	2,3E-20	2,572712
Dentro dos grupos	5,991375	21	0,285304			
Total	666,8558	27				

## Apêndice D – AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS CHAPAS DE CIMENTO-MADEIRA

TABELA 1D – Densidade para espécie cedro

Chapa	CP	Dimensões (mm)		Espessura (mm)	Massa (g)	Densidade kg/m <sup>3</sup>
		a	b			
A	1	50,50	50,00	16,96	57,00	1331
A	2	50,00	50,00	16,20	54,00	1333
A	3	50,00	50,60	16,42	54,00	1300
A	4	49,85	50,00	16,25	55,00	1358
B	5	50,20	50,50	16,80	55,00	1291
B	6	46,68	50,30	16,30	50,00	1306
B	7	50,30	50,80	16,78	56,00	1306
B	8	50,20	50,50	17,00	61,00	1415
<b>Mínimo</b>						<b>1291</b>
<b>Máximo</b>						<b>1415</b>
<b>Média das chapas</b>						<b>1330</b>
<b>Variância</b>						<b>1656</b>
<b>Desvio padrão</b>						<b>40,69</b>
<b>Coefficiente de Variação</b>						<b>3,06</b>
<b>Intervalo de confiança</b>						<b>28,20</b>

TABELA 2D – Densidade para espécie Jatobá

Chapa	CP	Dimensões (mm)		Espessura (mm)	Massa (g)	Densidade kg/m <sup>3</sup>
		a	b			
A	1	49,28	50,44	15,40	62,00	1620
A	2	51,06	50,80	15,54	61,00	1513
A	3	50,60	50,30	15,66	62,00	1556
A	4	50,20	50,28	15,12	61,00	1598
B	5	50,50	50,90	15,00	60,00	1556
B	6	50,16	50,56	15,06	58,00	1519
B	7	50,10	50,80	15,38	60,00	1533
B	8	50,15	50,50	15,42	61,00	1562
<b>Mínimo</b>						<b>1513</b>
<b>Máximo</b>						<b>1620</b>
<b>Média das chapas</b>						<b>1557</b>
<b>Variância</b>						<b>1376</b>
<b>Desvio Padrão</b>						<b>37,10</b>
<b>Coefficiente de Variação</b>						<b>2,38</b>
<b>Intervalo de confiança</b>						<b>25,71</b>

TABELA 3 D - Densidade para espécie Mistura

Chapa	CP	Dimensões (mm)		Espessura (mm)	Massa (g)	Densidade kg/m
		a	b			
A	1	50,00	49,50	16,46	61,00	1497
A	2	49,14	49,70	16,30	59,00	1482
A	3	50,12	49,86	16,68	54,00	1295
A	4	49,90	50,10	16,10	54,00	1342
B	5	50,60	50,70	16,60	57,00	1338
B	6	50,00	50,54	16,52	61,00	1461
B	7	50,15	50,00	16,78	56,00	1331
B	8	50,00	49,80	16,38	61,00	1496
<b>Mínimo</b>						<b>1295</b>
<b>Máximo</b>						<b>1497</b>
<b>Média das chapas</b>						<b>1405</b>
<b>Variância</b>						<b>7406</b>
<b>Desvio Padrão</b>						<b>86,06</b>
<b>Coefficiente de Variação</b>						<b>6,12</b>
<b>Intervalo de confiança</b>						<b>59,63</b>

TABELA 4D – Densidade para espécie Quaruba

Chapa	CP	Dimensões (mm)		Espessura (mm)	Massa (g)	Densidade kg/m
		a	b			
A	1	50,50	51,00	16,48	62,00	1461
A	2	50,00	50,50	16,78	60,00	1416
A	3	50,00	50,90	16,48	61,00	1454
A	4	50,10	51,00	16,94	64,00	1479
B	5	49,50	50,20	16,48	56,00	1367
B	6	50,70	49,90	16,26	58,00	1410
B	7	49,78	50,04	16,08	56,00	1398
B	8	50,10	50,20	16,38	61,00	1481
<b>Mínimo</b>						<b>1367</b>
<b>Máximo</b>						<b>1481</b>
<b>Média das chapas</b>						<b>1433</b>
<b>Variância</b>						<b>1720</b>
<b>Desvio Padrão</b>						<b>41,48</b>
<b>Coefficiente de variação</b>						<b>2,89</b>
<b>Intervalo de confiança</b>						<b>28,74</b>

TABELA 5D – Teor de umidade para espécie Cedro

Chapa	CP	Inicial úmida	Massa (g)		Teor de umidade %	
			final	Seca ao ar	Câmara úmida	Seco ao ar
A	1	61	52	56	17,31	7,69
A	2	60	51	55	17,65	7,84
A	3	54	46	50	17,39	8,70
A	4	52	45	50	15,56	11,11
B	5	55	46	52	19,57	13,04
B	6	50	43	48	16,28	11,63
B	7	56	49	55	14,29	12,24
B	8	61	52	57	17,31	9,62
<b>Mínimo</b>					<b>14,29</b>	<b>7,69</b>
<b>Máximo</b>					<b>19,57</b>	<b>13,04</b>
<b>Média das chapas</b>					<b>16,92</b>	<b>10,23</b>
<b>Variância</b>					<b>2,47</b>	<b>4,22</b>
<b>Desvio Padrão</b>					<b>1,57</b>	<b>2,05</b>
<b>Coefficiente de Variação</b>					<b>9,28</b>	<b>20,08</b>
<b>Intervalo de confiança</b>					<b>1,09</b>	<b>1,42</b>

TABELA 6D – Teor de umidade para espécie Jatobá

Chapa	CP	Inicial úmida	Massa (g)		Teor de umidade %	
			final	Seca ao ar	Câmara úmida	Seco ao ar
A	1	58	48	54	20,83	12,50
A	2	57	47	51	21,28	8,51
A	3	58	49	53	18,37	8,16
A	4	61	52	56	17,31	7,69
B	5	60	51	56	17,65	9,80
B	6	58	49	54	18,37	10,20
B	7	60	51	56	17,65	9,80
B	8	61	52	57	17,31	9,62
<b>Mínimo</b>					<b>17,31</b>	<b>7,69</b>
<b>Máximo</b>					<b>21,28</b>	<b>12,50</b>
<b>Média das chapas</b>					<b>18,60</b>	<b>9,54</b>
<b>Variância</b>					<b>2,48</b>	<b>2,25</b>
<b>Desvio Padrão</b>					<b>1,58</b>	<b>1,50</b>
<b>Coefficiente de Variação</b>					<b>8,48</b>	<b>15,72</b>
<b>Intervalo de confiança</b>					<b>1,09</b>	<b>1,04</b>

TABELA 7D – Teor de umidade para espécie Mistura

Chapa	CP	Inicial úmida	Massa (g)		Teor de umidade %	
			final	Seca ao ar	Câmara úmida	Seco ao ar
A	1	65	56	60	16,07	7,15
A	2	62	54	59	14,81	9,26
A	3	54	46	51	17,39	10,87
A	4	57	48	52	18,75	8,33
B	5	60	50	55	20,00	10,20
B	6	65	56	61	16,07	8,93
B	7	58	49	54	18,37	10,20
B	8	61	52	57	17,31	9,62
<b>Mínimo</b>					<b>14,81</b>	<b>7,15</b>
<b>Máximo</b>					<b>20,00</b>	<b>10,87</b>
<b>Média das chapas</b>					<b>17,35</b>	<b>9,30</b>
<b>Variância</b>					<b>2,82</b>	<b>1,37</b>
<b>Desvio Padrão</b>					<b>1,68</b>	<b>1,17</b>
<b>Coefficiente de Variação</b>					<b>9,68</b>	<b>12,58</b>
<b>Intervalo de confiança</b>					<b>1,16</b>	<b>0,81</b>

TABELA 8D – Teor de umidade para espécie Quaruba

Chapa	CP	Inicial úmida	Massa (g)		Teor de umidade %	
			final	Seca ao ar	Câmara úmida	Seco ao ar
A	1	64	55	59	16,36	7,27
A	2	60	51	55	17,65	7,84
A	3	66	58	62	13,79	6,90
A	4	70	61	65	14,75	6,56
B	5	62	54	59	14,81	9,26
B	6	66	58	63	13,79	8,62
B	7	57	50	56	14,00	12,00
B	8	62	53	57	16,98	7,55
<b>Mínimo</b>					<b>13,79</b>	<b>6,56</b>
<b>Máximo</b>					<b>17,65</b>	<b>12,00</b>
<b>Média das chapas</b>					<b>15,27</b>	<b>8,25</b>
<b>Variância</b>					<b>2,32</b>	<b>3,07</b>
<b>Desvio Padrão</b>					<b>1,52</b>	<b>1,75</b>
<b>Coefficiente de Variação</b>					<b>9,98</b>	<b>21,25</b>
<b>Intervalo de confiança</b>					<b>1,06</b>	<b>1,21</b>

TABELA 9D – Inchamento em espessura e absorção para espécie Cedro

Chapa	CP	Espessura (mm)		% de Inchamento	Massa (g)		% de Absorção
		Inicial	Final		inicial	final	
A	1	16,823	16,942	0,71	56	69	23,21
A	2	16,268	16,345	0,47	50	64	28,00
A	3	16,082	16,208	0,78	51	64	25,49
A	4	16,945	16,994	0,29	54	68	25,93
B	5	16,887	17,041	0,91	60	76	26,67
B	6	16,773	16,904	0,78	57	73	28,07
B	7	16,607	16,698	0,55	56	72	28,57
B	8	15,442	15,634	1,24	50	64	28,00
<b>Mínimo</b>				<b>0,29</b>			<b>23,21</b>
<b>Máximo</b>				<b>1,24</b>			<b>28,57</b>
<b>Média das chapas</b>				<b>0,72</b>			<b>26,74</b>
<b>Variância</b>				<b>0,08</b>			<b>3,28</b>
<b>Desvio Padrão</b>				<b>0,29</b>			<b>1,81</b>
<b>Coefficiente de Variação</b>				<b>40,53</b>			<b>6,77</b>
<b>Intervalo de confiança</b>				<b>0,20</b>			<b>1,26</b>

TABELA 10D – Inchamento em espessura e absorção para espécie Jatobá

Chapa	CP	Espessura (mm)		% de Inchamento	Massa (g)		% de Absorção
		Inicial	Final		inicial	final	
A	1	16,063	16,114	0,32	50	66	32,00
A	2	15,762	15,812	0,32	48	62	29,17
A	3	15,876	16,022	0,92	44	56	27,27
A	4	15,954	16,044	0,56	49	61	24,49
B	5	15,888	16,068	1,13	48	59	22,92
B	6	15,315	15,377	0,40	50	64	28,00
B	7	15,672	15,715	0,27	48	60	25,00
B	8	15,661	15,697	0,23	48	60	25,00
<b>Mínimo</b>				<b>0,23</b>			<b>22,92</b>
<b>Máximo</b>				<b>1,13</b>			<b>32,00</b>
<b>Média das chapas</b>				<b>0,52</b>			<b>26,73</b>
<b>Variância</b>				<b>0,11</b>			<b>8,74</b>
<b>Desvio Padrão</b>				<b>0,33</b>			<b>2,96</b>
<b>Coefficiente de Variação</b>				<b>64,13</b>			<b>11,06</b>
<b>Intervalo de confiança</b>				<b>0,23</b>			<b>2,05</b>

TABELA 11D – Inchamento em espessura e absorção para espécie Mistura

Chapa	CP	Espessura (mm)		% de Inchamento	Massa (g)		% de Absorção
		Inicial	Final		inicial	final	
A	1	16,823	16,942	0,71	47	63	34,04
A	2	16,153	16,329	1,09	47	63	34,04
A	3	16,434	16,695	1,59	48	63	31,25
A	4	16,999	17,006	0,04	48	64	33,33
B	5	16,757	16,854	0,58	48	62	29,17
B	6	16,147	16,233	0,53	51	66	29,41
B	7	16,048	16,239	1,19	49	64	30,61
B	8	16,772	16,955	1,09	54	68	25,93
<b>Mínimo</b>				<b>0,04</b>			<b>25,93</b>
<b>Máximo</b>				<b>1,59</b>			<b>34,04</b>
<b>Média das chapas</b>				<b>0,85</b>			<b>30,97</b>
<b>Variância</b>				<b>0,23</b>			<b>7,96</b>
<b>Desvio Padrão</b>				<b>0,48</b>			<b>2,82</b>
<b>Coefficiente de Variação</b>				<b>56,59</b>			<b>9,11</b>
<b>Intervalo de confiança</b>				<b>0,33</b>			<b>1,95</b>

TABELA 12D – Inchamento em espessura e absorção para espécie Quaruba

Chapa	CP	Espessura (mm)		% de Inchamento	Massa (g)		% de Absorção
		Inicial	Final		inicial	final	
A	1	16,765	16,797	0,19	56	67	19,64
A	2	16,145	16,258	0,70	50	72	44,00
A	3	16,786	16,823	0,22	51	70	37,25
A	4	16,007	16,069	0,39	54	73	35,19
B	5	16,203	16,300	0,60	53	67	26,42
B	6	16,473	16,614	0,86	54	68	25,93
B	7	16,248	16,317	0,42	56	70	25,00
B	8	16,184	16,407	1,38	50	66	32,00
<b>Mínimo</b>				<b>0,19</b>			<b>19,64</b>
<b>Máximo</b>				<b>1,38</b>			<b>44,00</b>
<b>Média das chapas</b>				<b>0,60</b>			<b>30,68</b>
<b>Variância</b>				<b>0,15</b>			<b>62,50</b>
<b>Desvio Padrão</b>				<b>0,39</b>			<b>7,91</b>
<b>Coefficiente de Variação</b>				<b>65,86</b>			<b>25,77</b>
<b>Intervalo de confiança</b>				<b>0,27</b>			<b>5,48</b>

TABELA 13D – Razão de compactação das chapas de cimento-madeira

<b>RAZÃO DE COMPACTAÇÃO</b>			
<b>Espécie</b>	<b>Massa Específica da chapa g/cm<sup>3</sup></b>	<b>Massa Específica da Madeira g/cm<sup>3</sup></b>	<b>Razão de Compactação</b>
Cedro	1,315	0,845	1,56
Jatobá	1,560	1,19	1,31
Mistura	1,400	1,00	1,40
Quaruba	1,433	0,96	1,49

## Apêndice E – AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E ESTATÍSTICAS DAS CHAPAS DE CIMENTO-MADEIRA

TABELA 1E – Módulo de Elasticidade e Módulo de Ruptura para espécie Cedro

Chapa	CP	Direção	MOE (GPa)	MOR (MPa)	Chapa	CP	Direção	MOE (GPa)	MOR (MPa)
A	1	longitudinal	8,87	9,39	B	1	transversal	6,12	6,98
	2		11,53	10,72		2		7,83	10,96
	3		8,10	8,98		3		5,36	6,52
	4		7,56	9,35		4		8,00	10,17
	5		8,38	10,75		5		9,21	10,63
	6		5,16	6,22		6		6,68	9,35
<b>Mínimo</b>			<b>5,16</b>	<b>6,22</b>	<b>Mínimo</b>			<b>5,36</b>	<b>6,52</b>
<b>Máximo</b>			<b>11,53</b>	<b>10,75</b>	<b>Máximo</b>			<b>9,21</b>	<b>10,96</b>
<b>Média da direção longitudinal</b>			<b>8,27</b>	<b>9,24</b>	<b>Média da direção transversal</b>			<b>7,20</b>	<b>9,10</b>
<b>Variância</b>			<b>4,24</b>	<b>2,74</b>	<b>Variância</b>			<b>1,98</b>	<b>3,63</b>
<b>Desvio Padrão</b>			<b>2,06</b>	<b>1,65</b>	<b>Desvio Padrão</b>			<b>1,41</b>	<b>1,91</b>
<b>Coefficiente de Variação</b>			<b>24,90</b>	<b>17,92</b>	<b>Coefficiente de Variação</b>			<b>20,00</b>	<b>20,94</b>
<b>Intervalo de confiança</b>			<b>1,65</b>	<b>1,32</b>	<b>Intervalo de confiança</b>			<b>1,13</b>	<b>6,00</b>

TABELA 2E – Módulo de Elasticidade e Módulo de Ruptura para espécie Jatobá

Chapa	CP	Direção	MOE (GPa)	MOR (MPa)	Chapa	CP	Direção	MOE (GPa)	MOR (MPa)
A	1	longitudinal	3,70	3,41	B	1	transversal	5,85	6,10
	2		6,29	4,18		2		7,91	5,66
	3		5,18	3,28		3		5,63	4,90
	4		5,13	2,13		4		3,27	3,41
	5		6,04	4,89		5		4,94	4,90
	6		4,81	4,27		6		3,85	3,36
<b>Mínimo</b>			<b>3,70</b>	<b>2,13</b>	<b>Mínimo</b>			<b>3,27</b>	<b>3,36</b>
<b>Máximo</b>			<b>6,29</b>	<b>4,89</b>	<b>Máximo</b>			<b>7,91</b>	<b>6,10</b>
<b>Média da direção longitudinal</b>			<b>5,19</b>	<b>3,69</b>	<b>Média da direção transversal</b>			<b>5,24</b>	<b>4,72</b>
<b>Variância</b>			<b>0,86</b>	<b>0,94</b>	<b>Variância</b>			<b>2,71</b>	<b>1,28</b>
<b>Desvio Padrão</b>			<b>0,93</b>	<b>0,97</b>	<b>Desvio Padrão</b>			<b>1,65</b>	<b>1,13</b>
<b>Coefficiente de Variação</b>			<b>17,90</b>	<b>26,24</b>	<b>Coefficiente de Variação</b>			<b>31,40</b>	<b>24,00</b>
<b>Intervalo de confiança</b>			<b>0,74</b>	<b>0,78</b>	<b>Intervalo de confiança</b>			<b>1,32</b>	<b>0,91</b>

TABELA 3E – Módulo de Elasticidade e Módulo de Ruptura para espécie Mistura

Chapa	CP	Direção	MOE (GPa)	MOR (MPa)	Chapa	CP	Direção	MOE (GPa)	MOR (MPa)
A	1	longitudinal	5,53	6,64	B	1	transversal	3,98	4,98
	2		7,07	7,31		2		10,96	9,63
	3		5,79	5,98		3		5,75	7,64
	4		4,67	4,32		4		3,29	3,99
	5		7,03	4,98		5		5,34	6,64
	6		3,80	4,32		6		4,17	5,65
<b>Mínimo</b>			<b>3,80</b>	<b>4,32</b>	<b>Mínimo</b>			<b>3,29</b>	<b>3,99</b>
<b>Máximo</b>			<b>7,07</b>	<b>7,31</b>	<b>Máximo</b>			<b>10,96</b>	<b>9,63</b>
<b>Média da direção longitudinal</b>			<b>5,65</b>	<b>5,59</b>	<b>Média da direção transversal</b>			<b>5,58</b>	<b>6,42</b>
<b>Variância</b>			<b>1,67</b>	<b>1,56</b>	<b>Variância</b>			<b>7,76</b>	<b>4,08</b>
<b>Desvio Padrão</b>			<b>1,29</b>	<b>1,25</b>	<b>Desvio Padrão</b>			<b>2,79</b>	<b>2,02</b>
<b>Coefficiente de Variação</b>			<b>22,86</b>	<b>22,35</b>	<b>Coefficiente de Variação</b>			<b>49,92</b>	<b>31,46</b>
<b>Intervalo de confiança</b>			<b>1,03</b>	<b>1,00</b>	<b>Intervalo de confiança</b>			<b>2,23</b>	<b>1,62</b>

TABELA 4E – Módulo de Elasticidade e Módulo de Ruptura para espécie Quaruba

Chapa	CP	Direção	MOE (GPa)	MOR (MPa)	Chapa	CP	Direção	MOE (GPa)	MOR (MPa)
A	1	longitudinal	4,87	8,01	B	1	transversal	4,98	6,30
	2		5,71	8,47		2		6,52	8,01
	3		3,47	7,37		3		5,76	8,46
	4		4,77	7,80		4		5,02	7,41
	5		6,26	7,92		5		6,27	8,05
	6		5,07	6,95		6		5,37	7,12
<b>Mínimo</b>			<b>3,47</b>	<b>6,95</b>	<b>Mínimo</b>			<b>4,98</b>	<b>6,30</b>
<b>Máximo</b>			<b>6,26</b>	<b>8,47</b>	<b>Máximo</b>			<b>6,52</b>	<b>8,46</b>
<b>Média da direção longitudinal</b>			<b>5,03</b>	<b>7,75</b>	<b>Média da direção transversal</b>			<b>5,65</b>	<b>7,56</b>
<b>Variância</b>			<b>0,90</b>	<b>0,28</b>	<b>Variância</b>			<b>0,42</b>	<b>0,61</b>
<b>Desvio Padrão</b>			<b>0,95</b>	<b>0,53</b>	<b>Desvio Padrão</b>			<b>0,64</b>	<b>0,78</b>
<b>Coefficiente de Variação</b>			<b>18,89</b>	<b>6,83</b>	<b>Coefficiente de Variação</b>			<b>11,40</b>	<b>10,34</b>
<b>Intervalo de confiança</b>			<b>0,76</b>	<b>0,42</b>	<b>Intervalo de confiança</b>			<b>0,52</b>	<b>0,63</b>

TABELA 5E – Tração Perpendicular e Compressão Paralela para espécie Cedro

Chapa	CP	TRAÇÃO PERPENDICULAR		COMPRESSÃO PARALELA	
		Carga de Ruptura (kgf)	Tensão de Ruptura (MPa)	Carga de ruptura (kgf)	Tensão de ruptura (MPa)
A	1	337,22	1,35	621,31	14,62
	2	401,15	1,60	614,76	14,46
	3	481,06	1,92	576,39	13,56
	4	384,48	1,54	654,46	15,40
	5	354,17	1,42	762,21	17,93
	6	379,45	1,52	658,74	15,50
B	7	425,91	1,70	725,64	17,07
	8	426,68	1,71	709,57	16,70
<b>Mínimo</b>			<b>1,35</b>	<b>13,56</b>	
<b>Máximo</b>			<b>1,92</b>	<b>17,93</b>	
<b>Média das chapas</b>			<b>1,60</b>	<b>15,66</b>	
<b>Variância</b>			<b>0,03</b>	<b>2,18</b>	
<b>Desvio padrão</b>			<b>0,18</b>	<b>1,48</b>	
<b>Coefficiente de Variação</b>			<b>11,34</b>	<b>9,43</b>	
<b>Intervalo de confiança</b>			<b>0,13</b>	<b>1,02</b>	

TABELA 6E – Tração Perpendicular e Compressão Paralela para espécie Jatobá

Chapa	CP	TRAÇÃO PERPENDICULAR		COMPRESSÃO PARALELA	
		Carga de Ruptura (kgf)	Tensão de Ruptura (MPa)	Carga de ruptura (kgf)	Tensão de ruptura
A	1	431,23	1,72	1047,00	26,18
	2	277,33	1,11	1055,47	26,39
	3	443,81	1,78	688,68	17,22
	4	298,59	1,19	681,19	17,03
	5	364,78	1,46	958,16	23,95
	6	458,49	1,83	920,73	23,02
B	7	450,32	1,80	666,22	16,66
	8	342,13	1,37	673,71	16,84
<b>Mínimo</b>			<b>1,11</b>	<b>16,66</b>	
<b>Máximo</b>			<b>1,83</b>	<b>26,39</b>	
<b>Média das chapas</b>			<b>1,53</b>	<b>20,91</b>	
<b>Variância</b>			<b>0,08</b>	<b>19,26</b>	
<b>Desvio padrão</b>			<b>0,29</b>	<b>4,39</b>	
<b>Coefficiente de Variação</b>			<b>18,85</b>	<b>20,98</b>	
<b>Intervalo de confiança</b>			<b>0,20</b>	<b>3,51</b>	

TABELA 7E – Tração Perpendicular e Compressão Paralela para espécie Mistura

Chapa	CP	TRAÇÃO PERPENDICULAR		COMPRESSÃO PARALELA	
		Carga de Ruptura (kgf)	Tensão de Ruptura (MPa)	Carga de ruptura (kgf)	Tensão de ruptura
A	1	327,74	1,31	696,16	16,38
	2	342,12	1,37	688,68	16,20
	3	300,71	1,20	666,22	15,68
	4	343,75	1,38	718,62	16,91
	5	265,23	1,06	606,34	14,27
	6	308,86	1,24	553,94	13,03
B	7	220,68	0,88	546,45	12,86
	8	269,74	1,08	538,97	12,68
<b>Mínimo</b>			<b>0,88</b>	<b>12,68</b>	
<b>Máximo</b>			<b>1,38</b>	<b>19,91</b>	
<b>Média das chapas</b>			<b>1,19</b>	<b>14,75</b>	
<b>Variância</b>			<b>0,03</b>	<b>3,05</b>	
<b>Desvio padrão</b>			<b>0,17</b>	<b>1,75</b>	
<b>Coefficiente de Variação</b>			<b>14,58</b>	<b>11,84</b>	
<b>Intervalo de confiança</b>			<b>0,12</b>	<b>1,21</b>	

TABELA 8E – Tração Perpendicular e Compressão Paralela para espécie Quaruba

Chapa	CP	TRAÇÃO PERPENDICULAR		COMPRESSÃO PARALELA	
		Carga de Ruptura (kgf)	Tensão de Ruptura (MPa)	Carga de ruptura (kgf)	Tensão de ruptura
A	1	226,95	0,91	681,19	16,03
	2	255,90	1,02	714,65	16,82
	3	483,73	1,93	636,28	14,97
	4	384,51	1,54	725,17	17,06
	5	222,82	0,89	565,12	13,30
	6	297,74	1,19	706,97	16,63
B	7	465,46	1,86	706,97	16,63
	8	370,02	1,48	574,42	13,52
<b>Mínimo</b>			<b>0,89</b>	<b>13,30</b>	
<b>Máximo</b>			<b>1,93</b>	<b>17,06</b>	
<b>Média das chapas</b>			<b>1,35</b>	<b>15,62</b>	
<b>Variância</b>			<b>0,17</b>	<b>2,28</b>	
<b>Desvio padrão</b>			<b>0,41</b>	<b>1,51</b>	
<b>Coefficiente de Variação</b>			<b>30,47</b>	<b>9,66</b>	
<b>Intervalo de confiança</b>			<b>0,29</b>	<b>1,05</b>	

## Apêndice F – A NOVA DO ESTUDO DA ESPÉCIE PARA CHAPAS

TABELA 1F – Análise de variância para variável Densidade do fator espécie

RESUMO	DENSIDADE				
	<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Cedro	8	10640	1330,0	1656	
Jatobá	8	12457	1557,1	1376,125	
Mistura	8	11242	1405,3	7406,214	
Quaruba	8	11466	1433,3	1720,5	

### ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	214207,8	3	71402,61	23,48994	8,39E-08	2,946685
Dentro dos grupos	85111,88	28	3039,71			
Total	299319,7	31				

TABELA 2F – Análise de variância para variável Teor de umidade em câmara úmida do fator espécie

RESUMO	TEOR DE UMIDADE EM CÂMARA ÚMIDA				
	<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Cedro	8	135,36	16,92	2,465229	
Jatobá	8	148,77	18,60	2,484884	
Mistura	8	138,77	17,35	2,822055	
Quaruba	8	122,13	15,27	2,321741	

### ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	45,40838	3	15,13613	5,998124	0,002732	2,946685
Dentro dos grupos	70,65736	28	2,523477			
Total	116,0657	31				

TABELA 3F – Análise de variância para variável Teor de umidade seco ao ar do fator espécie

RESUMO		TEOR DE UMIDADE SECO AO AR			
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	
Cedro	8	81,87	10,23	4,221027	
Jatobá	8	76,28	9,54	2,246629	
Mistura	8	74,36	9,30	1,367	
Quaruba	8	66	8,25	3,0738	

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	16,21123	3	5,403745	1,981489	0,139604	2,946685
Dentro dos grupos	76,35919	28	2,727114			
Total	92,57042	31				

TABELA 4F – Análise de variância para variável Inchamento em espessura do fator espécie

RESUMO		% DE INCHAMENTO EM ESPESSURA			
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	
Cedro	8	5,73	0,72	0,084284	
Jatobá	8	4,15	0,52	0,11067	
Mistura	8	6,82	0,85	0,232764	
Quaruba	8	4,76	0,60	0,153543	

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,511563	3	0,170521	1,173455	0,337504	2,946685
Dentro dos grupos	4,068825	28	0,145315			
Total	4,580388	31				

TABELA 5F – Análise de variância para variável Absorção de água do fator espécie

RESUMO		ABSORÇÃO DE ÁGUA 24 HORAS			
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	
Cedro	8	213,94	26,74	3,282479	
Jatobá	8	213,85	26,73	8,735784	
Mistura	8	247,78	30,97	7,957507	
Quaruba	8	245,43	30,68	62,50341	

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	134,0887	3	44,69622	2,167637	0,114139	2,946685
Dentro dos grupos	577,3543	28	20,6198			
Total	711,4429	31				

TABELA 6F – Análise de variância para variável MOE do fator espécie

RESUMO:		MOE						
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>Longitudinal</i>	<i>Transversal</i>		
Cedro	2	15466	7733	570312	8267	7169		
Jatobá	2	10435	5217,5	1300,5	5192	5243		
Mistura	2	11227	5613,5	2380,5	5648	5579		
Quaruba	2	10677	5338,5	197820,5	5024	5653		

ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	8400366	3	2800122	14,51191	0,0128979	6,5913923
Dentro dos grupos	771813,5	4	192953,4			
Total	9172180	7				

TABELA 7F – Análise de variância para variável MOR do fator espécie

RESUMO:		MOR						
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>Longitudinal</i>	<i>Transversal</i>		
Cedro	2	18,34	9,17	0,0098	9,24	9,1		
Jatobá	2	8,41	4,205	0,53045	3,69	4,72		
Mistura	2	12,01	6,005	0,34445	5,59	6,42		
Quaruba	2	15,31	7,655	0,01805	7,75	7,56		

ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	27,41434	3	9,138113	40,49011	0,0018853	6,5913923
Dentro dos grupos	0,90275	4	0,225688			
Total	28,31709	7				

TABELA 8F – Análise de variância para variável Tração Perpendicular do fator espécie

RESUMO		TRAÇÃO PERPENDICULAR						
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>				
Cedro	8	12,76	1,60	0,032743				
Jatobá	8	12,26	1,53	0,083421				
Mistura	8	9,52	1,19	0,030086				
Quaruba	8	10,82	1,35	0,169879				

ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,8057	3	0,268567	3,398195	0,031458	2,946685
Dentro dos grupos	2,2129	28	0,079032			
Total	3,0186	31				

TABELA 9F – Análise de variância para variável Compressão Paralela do fator espécie

RESUMO		COMPRESSÃO PARALELA			
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	
Cedro	8	125,24	15,66	2,178171	
Jatobá	8	167,29	20,91	19,25641	
Mistura	8	118,01	14,75	3,047955	
Quaruba	8	124,96	15,62	2,276686	

ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	190,2876	3	63,4292	9,481471	0,000173	2,946685
Dentro dos grupos	187,3146	28	6,689806			
Total	377,6022	31				

## Apêndice G – COMPOSIÇÃO DE CUSTO DA CHAPA DE CIMENTO-MADEIRA

TABELA 1G – Custo por m<sup>2</sup> para fabricação de chapas de 16mm de cimento-madeira

Item	MATERIAL	U	Q	P. unitário	P. total
01	Cimento ARI	Kg	11,93	0,341	4,07
02	Resíduo de madeira	Kg	3,98	0,10	0,40
03	Água	Kg	6,55	0,0018	0,01
04	Aditivo CaCl <sub>2</sub>	Kg	0,60	5,22	3,13
SUB TOTAL					7,61
<b>MÃO DE OBRA</b>					
01	Oficial	H	0,5	2,44	1,22
01	Servente	h	1,5	1,48	2,22
SUB TOTAL					3,44
LEIS SOCIAIS 100%					3,44
EQUIPAMENTOS 5% Sobre Material					0,38
SUB TOTAL					11,43
BDI 20%					2,29
PREÇO FINAL					13,72

## Apêndice H – ESPECTROMETRIA DE RAIOS-X

Compósito				% Atômica												Relação Ca/Si
Resíduo	Relação a/c	Idade dias	Figura de referência	C	O	Na	Mg	Al	Si	Cl	K	Ca	Ti	Mn	Fe	
Cedro	0,60	168	4.33, 4.34	0	6,312	0,086	0,291	1,32	15,78	0,697	0,093	71,064	1,138	0,315	2,904	4,503
Cedro	0,60	168	4.33, 4.35	0,182	2,163	0,104	0,101	0,044	0,567	0,325	0,097	90,512	0,719	1,441	3,744	159,63
Cedro	0,60	168	4.33, 4.36	1,056	6,875	0,045	0,838	0,473	3,977	-	0,039	57,703	0,539	0,144	23,311	13,503
Cedro	0,60	168	4.37, 4.38	5,846	9,791	0,105	0,263	7,153	21,647	0,697	0,321	52,089	0,801	0,092	1,193	2,41
Jatobá	0,60	186	4.39, 4.40	40,304	13,551	0,006	0,16	0,027	1,254	0,333	3,967	39,38	0,206	0,423	0,389	31,40
Jatobá	0,60	186	4.39, 4.41	53,903	14,613	0,027	0,116	0,007	0,625	0,258	2,862	26,682	0,182	0,197	0,525	42,69
Jatobá	0,60	186	4.39, 4.42	9,789	17,129	0,027	1,003	0,897	14,428	0,203	0,567	54,427	0,440	0,072	1,017	3,77
Jatobá	0,60	186	4.39, 4.43	44,944	11,329	0,039	0,092	0,114	1,392	0,173	4,022	37,031	0,567	0,298	-	26,603
Mistura	0,60	154	4.44, 4.45	4,07	6,889	0,104	0,447	0,445	15,968	0,239	0,648	68,471	0,635	0,212	1,873	4,29
Mistura	0,60	154	4.44, 4.46	3,244	8,361	0,113	0,352	2,003	16,944	0,831	0,282	57,79	1,572	0,225	8,284	3,411
Mistura	0,60	154	4.44, 4.47	7,906	5,372	0,096	0,476	7,551	20,045	0,353	0,886	51,392	0,988	0,144	4,791	2,56
Quaruba	0,60	172	4.48, 4.49	-	14,424	0,035	0,388	1,691	13,832	0,596	0,357	63,754	0,42	0,349	4,152	4,609
Quaruba	0,60	172	4.48, 4.50	-	10,952	0,053	0,359	1,115	12,507	0,596	0,085	69,446	1,162	0,017	3,553	5,553
Quaruba	0,60	172	4.48, 4.51	-	19,263	0,088	0,613	1,087	12,228	1,595	1,288	60,598	0,484	0,177	2,578	4,956
Quaruba	0,60	172	4.52, 4.53	-	13,682	0,009	0,226	0,412	16,539	0,529	0,442	67,044	0,202	0,127	0,789	4,054
Quaruba	0,60	172	4.52, 4.54	-	1,632	0,229	0,393	2,02	10,833	2,945	0,08	74,913	0,257	0,069	6,618	6,915
Quaruba	0,60	172	4.52, 4.55	38,19	19,256	0,222	0,145	0,269	3,155	0,324	0,74	36,095	0,387	0,094	1,122	11,440