



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

**Eng. Civil FÁBIO DE OLIVEIRA FONSECA**

**Contribuição para o desenvolvimento de  
compósito cimento-madeira  
com materiais da região amazônica**

Belém – Pará  
2005



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

**Eng. Civil FÁBIO DE OLIVEIRA FONSECA**

**Contribuição para o desenvolvimento de  
compósito cimento-madeira  
com materiais da região amazônica**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, orientada.

**Orientador: Prof. Dr. Alcebíades Negrão Macêdo**

Belém – Pará  
2005



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

**Eng. Civil FÁBIO DE OLIVEIRA FONSECA**

**Contribuição para o desenvolvimento de  
compósito cimento-madeira  
com materiais da região amazônica**

Aprovado em junho de 2005

Prof. Dr. Alcebiades Negrão Macedo  
Orientador / UFPA

Dr. Osmar José Romeiro de Aguiar  
EMBRAPA

Prof. Dr. Bernardo Borges Foripeu Neto  
UFPA

Prof. Dr. Paulo Sérgio Lima Souza  
UFPA

Belém – Pará

2005

## **Dedicatória**

Para minha esposa Lilian e nosso filho Gabriel



## **Agradecimentos**

A Deus, pelo dom da vida;

A meus pais Ana e Ribamar Fonseca pela  
incomensurabilidade dos esforços empenhados;

À minha esposa Lilian pelo apoio e compreensão;

À CAPES pelo apoio financeiro;

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, pelos  
ensinamentos e motivação, em especial, ao professor Dr.  
Alcebíades Negrão Macedo pela brilhante orientação;

Aos grandes amigos e colaboradores Dr. Osmar  
Romeiro Aguiar, Prof. Dr. Paulo Sérgio Lima Souza e  
Prof. Dr. Bernardo Borges Pompeu Neto, por suas  
valerosas contribuições, sem as quais este trabalho não  
seria possível.

Aos meus colegas do grupo de pesquisa Alexandre  
Martins de Lima, Jefferson Maia Lima, Max Tonny  
Andrade, e Alexandre Elias Francês Brito pelo  
companheirismo e amizade incondicionais;

Aos funcionários do laboratório de materiais de  
construção da Universidade Federal do Pará;

Aos funcionários do laboratório de materiais de  
construção da Universidade da Amazônia;

E a todos os outros não citados aqui, minhas humildes  
desculpas e sinceros agradecimentos por suas diretas ou  
indiretas contribuições para a realização deste trabalho.

## RESUMO

Este trabalho objetiva contribuir para a aplicação do resíduo do tecido lenhoso de espécies vegetais tropicais, na forma de serragem, proveniente da indústria madeireira do estado do Pará; da região metropolitana de Belém em particular; para a fabricação de compósito madeira-cimento. Devido à natural incompatibilidade química entre a madeira e o cimento, este procedimento resulta em um retardamento de pega, de intensidade dependente da espécie vegetal utilizada. Este efeito pode ser combatido com diversos processos, como por exemplo, a aditivação da mistura com aceleradores de pega, a mineralização da madeira, a carbonatação acelerada, dentre outros. As análises foram feitas a partir da resistência à compressão aos 28 dias para argamassas produzidas com teores de madeira de 2, 3,5 e 5% em massa; com cimento CP I e CP II, e ainda com e sem o uso de aditivo acelerador de pega a base de cloreto de cálcio. Assim sendo, os resultados obtidos foram analisados estatisticamente para que a influência do teor de madeira e da aditivação à base de cloreto de cálcio na resistência à compressão fosse avaliada. A maioria dos trabalhos existentes utiliza espécies de clima temperado, e de reflorestamento; pouco tendo sido avaliado para espécies de clima tropical. Neste sentido, o presente trabalho representa um esforço pioneiro no desenvolvimento de compósitos madeira-cimento para os materiais e resíduos disponíveis na região Amazônica.

Palavras-chave:

Cimento-madeira; compósito; resíduo; reciclagem; desenvolvimento sustentável.

## **ABSTRACT**

This work intends to propose an application for tropical wood waste from wood industry as saw dust; from the region of Belem, in the fabrication of wood-cement composite. Due to the natural chemical incompatibility between wood and cement, this procedure results in a set retarding effect, with wood specie depending intensity. This by-effect can be beaten by using a procedure like additives, wood mineralization, accelerated carbonation and others. Analysis were made with axial compression strength at 28 days age data, for mortars made with 2, 3.5 and 5% wood content in mass; using cements type CP I and CP II; with and without Calcium Clorets-based set accelerator additive. Then, obtained data were statistically analyzed for evaluation on wood content and additive use over mechanical resistance. Most of existing researches uses reforesting species, being the tropical ones almost never studied. So, this work represents a pioneer effort in developing a cement-bonded wood composite with our regionally available materials and residues.

Keywords:

Wood-cement; composite; residues; recycling; sustainable development.

## SUMÁRIO

<b>1 – INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 – JUSTIFICATIVAS .....	2
1.2 – OBJETIVOS .....	6
1.3 – LIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	7
<b>2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>8</b>
2.1 – CIMENTO PORTLAND .....	10
2.2 – FABRICAÇÃO DO CIMENTO .....	11
2.3 – HIDRATAÇÃO DO CIMENTO .....	12
2.3.1 – ESTÁGIO 1: Período da mistura.....	12
2.3.2 – ESTÁGIO 2: O período dormente.....	12
2.3.3 – ESTÁGIO 3: Início da pega.....	13
2.3.4 – ESTÁGIO 4: Endurecimento.....	14
2.3.5 – ESTÁGIO 5: Redução de velocidade .....	14
2.4 – EFEITOS DA ADIÇÃO DE MADEIRA EM UMA MATRIZ DE CIMENTO .....	14
2.5 – APLICAÇÕES DOS COMPÓSITOS .....	15
2.5.1 – Estruturas .....	16
2.5.2 – Revestimentos.....	17
2.5.3 – Isolamento Térmico .....	18
2.5.4 – Isolamento Acústico.....	18
2.5.5 – Proteção Mecânica.....	18
2.5.6 – Restaurações.....	19
2.6 – TIPOLOGIAS DE MATERIAIS COMPÓSITOS.....	20
2.6.1 – Compósitos reforçados com partículas.....	21
2.6.2 – Compósitos estruturais .....	21
2.6.3 – Compósitos reforçados com fibras .....	21
2.7 – COMPÓSITO MADEIRA-CIMENTO .....	22
2.8 – CRITÉRIOS BÁSICOS PARA PRODUÇÃO DO COMPÓSITO MADEIRA-CIMENTO .....	26
2.8.1 – Escolha da espécie.....	26
2.8.2 – Tratamento dos resíduos vegetais.....	27
2.8.3 – Aditivação do aglomerante .....	27
2.8.4 – Aceleração da cura por métodos externos.....	27

2.9 – EFEITOS INDESEJÁVEIS .....	29
2.9.1 – Retardamento de pega .....	29
2.9.2 – Instabilidade dimensional .....	29
2.10 – TRATAMENTOS DE COMPATIBILIZAÇÃO .....	31
2.11 – MINERALIZAÇÃO .....	32
2.12 – CURA ACELERADA .....	33
2.13 – ADITIVOS .....	33
2.14 – DEFINIÇÕES E NOMENCLATURA DOS ADITIVOS.....	34
2.15 – FUNCIONAMENTO DOS ADITIVOS.....	35
2.15.1 – Tensoativos .....	35
2.15.2 – Tensoativos incorporadores de ar .....	35
2.15.3 – Tensoativos redutores de água .....	35
2.15.4 – Modificadores de pega.....	36
2.16 – OUTROS TIPOS DE ADITIVOS .....	37
<b>3 – CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>39</b>
<b>4 – MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>42</b>
4.1 – CIMENTO.....	42
4.2 – RESÍDUO (MADEIRA) .....	42
4.3 – AREIA .....	43
4.4 – ADITIVO.....	45
4.5 – PROGRAMA EXPERIMENTAL – ENSAIOS PRELIMINARES E ENSAIOS DEFINITIVOS .....	45
4.6 – ENSAIOS PRELIMINARES .....	46
4.2 – RESULTADOS PRELIMINARES.....	49
4.3 – ENSAIOS DEFINITIVOS – PROGRAMA EXPERIMENTAL .....	50
<b>5 – RESULTADOS .....</b>	<b>53</b>
5.1 – MASSA ESPECÍFICA .....	53
5.2 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	54
5.3 – ACABAMENTO SUPERFICIAL .....	56
5.4 – DESMOLDAGEM .....	57
5.5 – TIPOS DE RUPTURA.....	58
5.6 – ANÁLISE DE DISPERSÃO .....	59
5.7 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA .....	59
5.8 – COMENTÁRIOS .....	62
<b>6 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>63</b>
6.1 – ADIÇÃO DE MADEIRA .....	63

6.2 – VARIABILIDADE DE RESULTADOS.....	63
6.3 – PERDA DE ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA.....	63
6.4 – MASSA ESPECÍFICA .....	64
6.5 – ADITIVO ACELERADOR.....	64
6.6 – CUSTO.....	64
6.7 – APLICAÇÕES POTENCIAIS .....	65
<b>7 – CONCLUSÕES.....</b>	<b>66</b>
7.1 – CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	68
7.2 – SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS .....	68
<b>8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>69</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>84</b>
<b>ANEXO A – TENSÕES DE RUPTURA POR COMPRESSÃO AXIAL AOS 28 DIAS .....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXO B – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O USO DE ADITIVO.....</b>	<b>89</b>
<b>ANEXO C – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TIPO DE CIMENTO .....</b>	<b>96</b>
<b>ANEXO D – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO .....</b>	<b>103</b>
<b>ANEXO E – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TEOR DE MADEIRA.....</b>	<b>108</b>
<b>ANEXO F – ESTUDO DA DISPERSÃO DOS DADOS OBTIDOS.....</b>	<b>112</b>
<b>ANEXO G – RELAÇÃO ÁGUA-CIMENTO E ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA .....</b>	<b>122</b>
<b>ANEXO H – CUSTO UNITÁRIO.....</b>	<b>129</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – RESÍDUOS DE MADEIRA EM FÁBRICA DE MÓVEIS E UTENSÍLIOS DOMÉSTICOS NA ZONA METROPOLITANA DE BELÉM – PA.....	2
FIGURA 2 – RESÍDUOS DE MADEIRA EM USINA TERMOELÉTRICA .....	3
FIGURA 3 – USINA TERMOELÉTRICA (TURBINAS) – BELÉM – PARÁ.....	3
FIGURA 4 – USINA TERMOLÉTRICAS – (CALDEIRAS).....	4
FIGURA 5 – FÔRMA DE CONCRETO .....	5
FIGURA 6 – FÔRMAS E ESCORAS.....	5
FIGURA 7 – PERÍODO DE MISTURA. FORMAÇÃO DO C-S-H E ETRINGITA NA SUPERFÍCIE DOS GRÃOS DE CLÍNQUER. ....	12
FIGURA 8 – PERÍODO DORMENTE .....	13
FIGURA 9 – INÍCIO DA PEGA; SÚBITO CONSUMO DO $Ca^{+}$ E $OH^{-}$ PRECIPITANDO $Ca(OH)_2$ .....	13
FIGURA 10 – ENDURECIMENTO DA PASTA DE CIMENTO.....	14
FIGURA 11 – USINA HIDROELÉTRICA ITAIPU BINACIONAL – FOZ DO IGUAÇÚ – PR.....	16
FIGURA 12 – ESCULTURA – BRASÍLIA – DF. ....	16
FIGURA 13 – PAINEL DO BARRAGEIRO (FRAGMENTO) – FOZ DO IGUAÇU – PR. ....	16
FIGURA 14 – REVESTIMENTO CERÂMICO APLICADO SOBRE ARGAMASSA COLANTE. ....	17
FIGURA 15 – BLOCO CERÂMICO ATENUANDO TEMPERATURA. ....	18
FIGURA 16 – COMPORTAMENTO DAS FIBRAS NO INTERIOR DE UM COMPÓSITO, AO LONGO DE UMA FISSURA.....	28
FIGURA 17 – ASPECTO DO RESÍDUO UTILIZADO .....	43
FIGURA 18 – CURVA GRANULOMÉTRICA DA AREIA.....	44
FIGURA 19 – ESTUFA PARA SECAGEM DE MATERIAL .....	45
FIGURA 20 – DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA PARA O TRAÇO 1:6,5.....	47
FIGURA 21 – FISSURAS DURANTE A DESMOLDAGEM. ....	47
FIGURA 22 – CORPOS-DE-PROVA COM FUNGOS NA SUPERFÍCIE.....	48
FIGURA 23 – DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA PARA O TRAÇO 1:5.....	48
FIGURA 24 – DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA PARA O TRAÇO 1:3,5.....	49

FIGURA 25 – RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO VERSUS TEOR DE MADEIRA .....	50
FIGURA 26 – ARGAMASSEIRA ELÉTRICA .....	51
FIGURA 27 – ENSAIO DE ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA.....	52
FIGURA 28 – EXUDAÇÃO EXCESSIVA POR FALTA DE FINOS .....	52
FIGURA 29 – ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (SIMULAÇÃO) .....	52
FIGURA 30 – MASSA ESPECÍFICA EM KG POR M <sup>3</sup> PARA O CIMENTO CP I.....	53
FIGURA 31 – MASSA ESPECÍFICA EM KG POR M <sup>3</sup> PARA O CIMENTO CP II .....	54
FIGURA 32 – SUPERFÍCIE DE CORPO-DE-PROVA.....	57
FIGURA 33 – SUPERFÍCIE DE CORPO-DE-PROVA.....	57
FIGURA 34 – FISSURAS DURANTE A DESMOLDAGEM .....	58
FIGURA 35 – FISSURAÇÃO TÍPICA DOS TRAÇOS MAIS RICOS EM CIMENTO.....	58
FIGURA 36 – FISSURAÇÃO TÍPICA DOS TRAÇOS MAIS POBRES EM CIMENTO .....	59
FIGURA 37 – DISPERSÃO DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA O TRAÇO 1:1 COM 5% DE MADEIRA, COM CIMENTO CP I, SEM ADITIVO E COM ADITIVO RESPECTIVAMENTE .....	113
FIGURA 38 – DISPERSÃO DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA O TRAÇO 1:1 COM 5% DE MADEIRA, COM CIMENTO CP II, SEM ADITIVO E COM ADITIVO RESPECTIVAMENTE.....	113
FIGURA 39 – DISPERSÃO DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA O TRAÇO 1:1 COM 3,5% DE MADEIRA, COM CIMENTO CP I, SEM ADITIVO E COM ADITIVO RESPECTIVAMENTE.....	114
FIGURA 40 – DISPERSÃO DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA O TRAÇO 1:1 COM 3,5% DE MADEIRA, COM CIMENTO CP II, SEM ADITIVO E COM ADITIVO RESPECTIVAMENTE.....	114
FIGURA 41 – DISPERSÃO DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA O TRAÇO 1:1 COM 2% DE MADEIRA, COM CIMENTO CP I, SEM ADITIVO E COM ADITIVO RESPECTIVAMENTE .....	115
FIGURA 42 – DISPERSÃO DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA O TRAÇO 1:1 COM 2% DE MADEIRA, COM CIMENTO CP II, SEM ADITIVO E COM ADITIVO RESPECTIVAMENTE.....	115
FIGURA 43 – DISPERSÃO DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA O TRAÇO 1:2 COM 5% DE MADEIRA, COM CIMENTO CP I, SEM ADITIVO E COM ADITIVO RESPECTIVAMENTE .....	116



FIGURA 44 – DISPERSÃO DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA O TRAÇO 1:2 COM 5% DE MADEIRA, COM CIMENTO CP II, SEM ADITIVO E COM ADITIVO RESPECTIVAMENTE.....	116
FIGURA 45 – DISPERSÃO DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA O TRAÇO 1:2 COM 3,5% DE MADEIRA, COM CIMENTO CP I, SEM ADITIVO E COM ADITIVO RESPECTIVAMENTE.....	117
FIGURA 46 – DISPERSÃO DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA O TRAÇO 1:2 COM 3,5% DE MADEIRA, COM CIMENTO CP II, SEM ADITIVO E COM ADITIVO RESPECTIVAMENTE.....	117
FIGURA 47 – DISPERSÃO DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA O TRAÇO 1:2 COM 2% DE MADEIRA, COM CIMENTO CP I, SEM ADITIVO E COM ADITIVO RESPECTIVAMENTE .....	118
FIGURA 48 – DISPERSÃO DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA O TRAÇO 1:2 COM 2% DE MADEIRA, COM CIMENTO CP II, SEM ADITIVO E COM ADITIVO RESPECTIVAMENTE.....	118
FIGURA 49 – DISPERSÃO DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA O TRAÇO 1:3 COM 5% DE MADEIRA, COM CIMENTO CP I, SEM ADITIVO E COM ADITIVO RESPECTIVAMENTE .....	119
FIGURA 50 – DISPERSÃO DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA O TRAÇO 1:3 COM 5% DE MADEIRA, COM CIMENTO CP II, SEM ADITIVO E COM ADITIVO RESPECTIVAMENTE.....	119
FIGURA 51 – DISPERSÃO DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA O TRAÇO 1:3 COM 3,5% DE MADEIRA, COM CIMENTO CP I, SEM ADITIVO E COM ADITIVO RESPECTIVAMENTE.....	120
FIGURA 52 – DISPERSÃO DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA O TRAÇO 1:3 COM 3,5% DE MADEIRA, COM CIMENTO CP II, SEM ADITIVO E COM ADITIVO RESPECTIVAMENTE.....	120
FIGURA 53 – DISPERSÃO DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA O TRAÇO 1:3 COM 2% DE MADEIRA, COM CIMENTO CP I, SEM ADITIVO E COM ADITIVO RESPECTIVAMENTE .....	121
FIGURA 54 – DISPERSÃO DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA O TRAÇO 1:3 COM 2% DE MADEIRA, COM CIMENTO CP II, SEM ADITIVO E COM ADITIVO RESPECTIVAMENTE.....	121

FIGURA 55 – COMPARAÇÃO DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA VERSUS RELAÇÃO ÁGUA / CIMENTO, TRAÇO 1:1, CIMENTO CPI, SEM ADITIVO.....	125
FIGURA 56 – COMPARAÇÃO DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA VERSUS RELAÇÃO ÁGUA / CIMENTO, TRAÇO 1:2, CIMENTO CPI, SEM ADITIVO.....	125
FIGURA 57 – COMPARAÇÃO DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA VERSUS RELAÇÃO ÁGUA / CIMENTO, TRAÇO 1:3, CIMENTO CPI, SEM ADITIVO.....	125
FIGURA 58 – COMPARAÇÃO DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA VERSUS RELAÇÃO ÁGUA / CIMENTO, TRAÇO 1:1, CIMENTO CPI, COM ADITIVO .....	126
FIGURA 59 – COMPARAÇÃO DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA VERSUS RELAÇÃO ÁGUA / CIMENTO, TRAÇO 1:2, CIMENTO CPI, COM ADITIVO .....	126
FIGURA 60 – COMPARAÇÃO DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA VERSUS RELAÇÃO ÁGUA / CIMENTO, TRAÇO 1:3, CIMENTO CPI, COM ADITIVO .....	126
FIGURA 61 – COMPARAÇÃO DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA VERSUS RELAÇÃO ÁGUA / CIMENTO, TRAÇO 1:1, CIMENTO CPII, SEM ADITIVO .....	127
FIGURA 62 – COMPARAÇÃO DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA VERSUS RELAÇÃO ÁGUA / CIMENTO, TRAÇO 1:2, CIMENTO CPII, SEM ADITIVO .....	127
FIGURA 63 – COMPARAÇÃO DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA VERSUS RELAÇÃO ÁGUA / CIMENTO, TRAÇO 1:3, CIMENTO CPII, SEM ADITIVO .....	127
FIGURA 64 – COMPARAÇÃO DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA VERSUS RELAÇÃO ÁGUA / CIMENTO, TRAÇO 1:1, CIMENTO CPII, COM ADITIVO.....	128
FIGURA 65 – COMPARAÇÃO DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA VERSUS RELAÇÃO ÁGUA / CIMENTO, TRAÇO 1:2, CIMENTO CPII, COM ADITIVO.....	128
FIGURA 66 – COMPARAÇÃO DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA VERSUS RELAÇÃO ÁGUA / CIMENTO, TRAÇO 1:3, CIMENTO CPII, COM ADITIVO.....	128
FIGURA 67 – CUSTO DOS INSUMOS POR QUILOGRAMA DE MATERIAL MOLDADO .....	131

## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 – CARACTERIZAÇÃO DA AREIA UTILIZADA (NBR 7217).....	43
TABELA 2 – ESTRUTURA DOS ENSAIOS PRELIMINARES.....	46
TABELA 3 – ADIÇÃO DE MADEIRA E RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO.....	49
TABELA 4 – ENSAIOS PRELIMINARES – CARGAS DE RUPTURA EM KGF E TENSÕES EM MPA.....	50
TABELA 5 – PLANEJAMENTO DA PESQUISA – CIMENTO CP-I .....	50
TABELA 6 – PLANEJAMENTO DA PESQUISA – CIMENTO CP-II.....	51
TABELA 7 – MASSA ESPECÍFICA EM KG POR M <sup>3</sup> PARA O CIMENTO CP I.....	53
TABELA 8 – MASSA ESPECÍFICA EM KG POR M <sup>3</sup> PARA O CIMENTO CP II.....	54
TABELA 9 – TENSÕES DE RUPTURA À COMPRESSÃO AXIAL AOS 28 DIAS PARA O TRAÇO 1:1 COM ADIÇÃO DE MADEIRA DE 5% EM MASSA .....	55
TABELA 10 – ANÁLISE DE DISPERSÃO EM % PARA OS TRAÇOS MOLDADOS .....	59
TABELA 11 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O USO DE ADITIVO .....	60
TABELA 12 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TIPO DE CIMENTO .....	60
TABELA 13 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO.....	61
TABELA 14 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TEOR DE RESÍDUO .....	61
TABELA 15 – TENSÕES DE RUPTURA À COMPRESSÃO AXIAL AOS 28 DIAS PARA O TRAÇO 1:1.....	86
TABELA 16 – TENSÕES DE RUPTURA À COMPRESSÃO AXIAL AOS 28 DIAS PARA O TRAÇO 1:2.....	87
TABELA 17 – TENSÕES DE RUPTURA À COMPRESSÃO AXIAL AOS 28 DIAS PARA O TRAÇO 1:3.....	88
TABELA 18 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO 1:1, COM 5% DE MADEIRA E CIMENTO CPI .....	90
TABELA 19 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO 1:1, COM 5% DE MADEIRA E CIMENTO CPII .....	90
TABELA 20 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO 1:1, COM 3,5% DE MADEIRA E CIMENTO CPI.....	90
TABELA 21 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO 1:1, COM 3,5% DE MADEIRA E CIMENTO CPII .....	91
TABELA 22 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO 1:1, COM 2% DE MADEIRA E CIMENTO CPI .....	91

TABELA 23 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO 1:1, COM 2% DE MADEIRA E CIMENTO CPII	91
TABELA 24 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO 1:2, COM 5% DE MADEIRA E CIMENTO CPI	92
TABELA 25 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO 1:2, COM 5% DE MADEIRA E CIMENTO CPII	92
TABELA 26 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO 1:2, COM 3,5% DE MADEIRA E CIMENTO CPI	92
TABELA 27 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO 1:2, COM 3,5% DE MADEIRA E CIMENTO CPII	93
TABELA 28 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO 1:2, COM 2% DE MADEIRA E CIMENTO CPI	93
TABELA 29 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO 1:2, COM 2% DE MADEIRA E CIMENTO CPII	93
TABELA 30 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO 1:3, COM 5% DE MADEIRA E CIMENTO CPI	94
TABELA 31 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO 1:3, COM 5% DE MADEIRA E CIMENTO CPII	94
TABELA 32 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO 1:3, COM 3,5% DE MADEIRA E CIMENTO CPI	94
TABELA 33 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO 1:3, COM 3,5% DE MADEIRA E CIMENTO CPII	95
TABELA 34 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO 1:3, COM 2% DE MADEIRA E CIMENTO CPI	95
TABELA 35 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO 1:3, COM 2% DE MADEIRA E CIMENTO CPII	95
TABELA 36 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO 1:1, COM 5% DE MADEIRA E SEM ADITIVO	97
TABELA 37 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO 1:1, COM 3,5% DE MADEIRA E SEM ADITIVO	97
TABELA 38 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO 1:1, COM 2% DE MADEIRA E SEM ADITIVO	97
TABELA 39 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO 1:1, COM 5% DE MADEIRA E COM ADITIVO	98

TABELA 40 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO 1:1, COM 3,5% DE MADEIRA E COM ADITIVO.....	98
TABELA 41 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO 1:1, COM 2% DE MADEIRA E COM ADITIVO .....	98
TABELA 42 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO 1:2, COM 5% DE MADEIRA E SEM ADITIVO .....	99
TABELA 43 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO 1:2, COM 3,5% DE MADEIRA E SEM ADITIVO.....	99
TABELA 44 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO 1:2, COM 2% DE MADEIRA E SEM ADITIVO .....	99
TABELA 45 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO 1:2, COM 5% DE MADEIRA E COM ADITIVO .....	100
TABELA 46 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO 1:2, COM 3,5% DE MADEIRA E COM ADITIVO.....	100
TABELA 47 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO 1:2, COM 2% DE MADEIRA E COM ADITIVO .....	100
TABELA 48 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO 1:3, COM 5% DE MADEIRA E SEM ADITIVO .....	101
TABELA 49 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO 1:3, COM 3,5% DE MADEIRA E SEM ADITIVO.....	101
TABELA 50 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO 1:3, COM 2% DE MADEIRA E SEM ADITIVO .....	101
TABELA 51 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO 1:3, COM 5% DE MADEIRA E COM ADITIVO .....	102
TABELA 52 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO 1:3, COM 3,5% DE MADEIRA E COM ADITIVO.....	102
TABELA 53 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO 1:3, COM 2% DE MADEIRA E COM ADITIVO .....	102
TABELA 54 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O CIMENTO CPI, COM 5% DE MADEIRA, PARA OS TRAÇOS 1:1, 1:2 E 1:3 SEM ADITIVO.....	104
TABELA 55 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O CIMENTO CPI, COM 3,5% DE MADEIRA, PARA OS TRAÇOS 1:1, 1:2 E 1:3 SEM ADITIVO.....	104
TABELA 56 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O CIMENTO CPI, COM 2% DE MADEIRA, PARA OS TRAÇOS 1:1, 1:2 E 1:3 SEM ADITIVO.....	104

TABELA 57 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O CIMENTO CP I, COM 5% DE MADEIRA, PARA OS TRAÇOS 1:1, 1:2 E 1:3 COM ADITIVO.....	105
TABELA 58 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O CIMENTO CP I, COM 3,5% DE MADEIRA, PARA OS TRAÇOS 1:1, 1:2 E 1:3 COM ADITIVO.....	105
TABELA 59 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O CIMENTO CP I, COM 2% DE MADEIRA, PARA OS TRAÇOS 1:1, 1:2 E 1:3 COM ADITIVO.....	105
TABELA 60 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O CIMENTO CP II, COM 5% DE MADEIRA, PARA OS TRAÇOS 1:1, 1:2 E 1:3 SEM ADITIVO.....	106
TABELA 61 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O CIMENTO CP II, COM 3,5% DE MADEIRA, PARA OS TRAÇOS 1:1, 1:2 E 1:3 SEM ADITIVO.....	106
TABELA 62 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O CIMENTO CP II, COM 2% DE MADEIRA, PARA OS TRAÇOS 1:1, 1:2 E 1:3 SEM ADITIVO.....	106
TABELA 63 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O CIMENTO CP II, COM 5% DE MADEIRA, PARA OS TRAÇOS 1:1, 1:2 E 1:3 COM ADITIVO.....	107
TABELA 64 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O CIMENTO CP II, COM 3,5% DE MADEIRA, PARA OS TRAÇOS 1:1, 1:2 E 1:3 COM ADITIVO.....	107
TABELA 65 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O CIMENTO CP II, COM 2% DE MADEIRA, PARA OS TRAÇOS 1:1, 1:2 E 1:3 COM ADITIVO.....	107
TABELA 66 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O CIMENTO CP II, COM 2%, 3,5% E 5% DE MADEIRA, PARA O TRAÇO 1:1 SEM ADITIVO.....	109
TABELA 67 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O CIMENTO CP I, COM 2%, 3,5% E 5% DE MADEIRA, PARA O TRAÇO 1:1 COM ADITIVO.....	109
TABELA 68 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O CIMENTO CP II, COM 2%, 3,5% E 5% DE MADEIRA, PARA O TRAÇO 1:1 SEM ADITIVO.....	109
TABELA 69 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O CIMENTO CP II, COM 2%, 3,5% E 5% DE MADEIRA, PARA O TRAÇO 1:1 COM ADITIVO.....	109
TABELA 70 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O CIMENTO CP I, COM 2%, 3,5% E 5% DE MADEIRA, PARA O TRAÇO 1:2 SEM ADITIVO.....	110
TABELA 71 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O CIMENTO CP I, COM 2%, 3,5% E 5% DE MADEIRA, PARA O TRAÇO 1:2 COM ADITIVO.....	110
TABELA 72 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O CIMENTO CP II, COM 2%, 3,5% E 5% DE MADEIRA, PARA O TRAÇO 1:2 SEM ADITIVO.....	110
TABELA 73 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O CIMENTO CP II, COM 2%, 3,5% E 5% DE MADEIRA, PARA O TRAÇO 1:2 COM ADITIVO.....	110

TABELA 74 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O CIMENTO CP I, COM 2%, 3,5% E 5% DE MADEIRA, PARA O TRAÇO 1:3 SEM ADITIVO.....	111
TABELA 75 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O CIMENTO CP I, COM 2%, 3,5% E 5% DE MADEIRA, PARA O TRAÇO 1:3 COM ADITIVO.....	111
TABELA 76 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O CIMENTO CP II, COM 2%, 3,5% E 5% DE MADEIRA, PARA O TRAÇO 1:3 SEM ADITIVO.....	111
TABELA 77 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O CIMENTO CP II, COM 2%, 3,5% E 5% DE MADEIRA, PARA O TRAÇO 1:3 COM ADITIVO.....	111
TABELA 78 – ANÁLISE DE DISPERSÃO CPI E CP II, TRAÇO 1:1 5% DE MADEIRA.....	113
TABELA 79 – ANÁLISE DE DISPERSÃO CPI E CP II, TRAÇO 1:1 3,5% DE MADEIRA.....	114
TABELA 80 – ANÁLISE DE DISPERSÃO CPI E CP II, TRAÇO 1:1 2% DE MADEIRA.....	115
TABELA 81 – ANÁLISE DE DISPERSÃO CPI E CP II, TRAÇO 1:2 5% DE MADEIRA.....	116
TABELA 82 – ANÁLISE DE DISPERSÃO CPI E CP II, TRAÇO 1:2 3,5% DE MADEIRA.....	117
TABELA 83 – ANÁLISE DE DISPERSÃO CPI E CP II, TRAÇO 1:2 2% DE MADEIRA.....	118
TABELA 84 – ANÁLISE DE DISPERSÃO CPI E CP II, TRAÇO 1:3 5% DE MADEIRA.....	119
TABELA 85 – ANÁLISE DE DISPERSÃO CPI E CP II, TRAÇO 1:3 3,5% DE MADEIRA.....	120
TABELA 86 – ANÁLISE DE DISPERSÃO CPI E CP II, TRAÇO 1:3 2% DE MADEIRA.....	121
TABELA 87 – RELAÇÃO ÁGUA-CIMENTO E ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA PARA O CIMENTO CP I....	123
TABELA 88 – RELAÇÃO ÁGUA-CIMENTO E ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA PARA O CIMENTO CP II ..	124
TABELA 89 – CÁLCULO DO CUSTO DOS INSUMOS, POR KG DE COMPÓSITO MOLDADO .....	130

## 1 – INTRODUÇÃO

O extrativismo e o processamento da madeira são importantes atividades industriais e econômicas para a região norte do Brasil, e como todos os ramos da indústria, possuem certas demandas e geram subprodutos.

Durante a extração de exemplares para processamento, principalmente em locais onde não houver aplicações de técnicas de manejo florestal, é comum observarmos que para atingir as árvores desejadas, é necessário desmatar vias de acesso, descartar espécies não-comerciais, exemplares com defeitos no tronco, sapopemas, galhos, aparas, costaneiras, e serragem.

A literatura técnica mostra que menos da metade do material extraído da natureza chega a se tornar um produto industrial com valor agregado, ou mesmo servir de insumo para outras indústrias. Desta forma registra-se a grande ocorrência de material descartado; muitas das vezes de forma inadequada; às proximidades de madeireiras pouco equipadas.

A serragem é um resíduo industrial de difícil descarte, ao entrar em contato com umidade, produz xorume, poluindo seriamente rios e cursos d'água. Comumente as serrarias são instaladas em locais contíguos a rios e córregos para facilitar o carreamento destas partículas. Em muitos casos quando não se dispõe desta solução para o carreamento da serragem, é comum efetuar-se a sua queima. Ambas as soluções severamente prejudiciais ao meio ambiente. Segundo MARTINEZ-GUERRA et al (1993), a fumaça proveniente da queima da madeira chega a ser mais danosa ao ser humano do que a fumaça do cigarro; causando doenças como diabetes, câncer, deficiências imunológicas e cardiopatias graves. Estes poluentes podem agir no corpo humano não somente por inalação, mas também por absorção através da pele, e ingestão de água e alimentos contaminados.

O desenvolvimento de materiais alternativos, principalmente com o uso de subprodutos e materiais reciclados é uma vertente em crescimento contínuo da construção civil. Neste contexto, estudos mostram que a associação da madeira (na forma de serragem) em matrizes de cimento pode resultar em um material de engenharia com desempenho similar aos materiais existentes, de fácil produção e com custo acessível.

Estas pesquisas são impulsionadas por fatores como a evolução de programas de desenvolvimento sustentável, onde o uso racional de recursos naturais é primordial, além do próprio desenvolvimento e adaptação tecnológica dos materiais atuais com o objetivo de



oferecer produtos mais eficientes, conferindo economia, conforto e agregando valor às edificações.

Convém lembrar que a combinação de fibras com aglomerantes não é uma tecnologia tão recente, já que no livro do Êxodo 5,6 vemos uma referência desta técnica aplicada a fabricação de tijolos:

*‘Naquele dia, Faraó deu estas ordens aos chefes de corvéia e aos escribas do povo: “Não forneceis mais, como antes, a palha para fabricar os tijolos. Eles mesmos irão recolher a palha...”’*.

Porém, no caso da associação madeira-cimento a literatura técnica mostra que este procedimento pode resultar em problemas tecnológicos sobre os dois materiais principais; por um lado retardando a pega do cimento e por outro favorecendo a decomposição da madeira. Estes efeitos negativos têm sido objetos de estudo de alguns autores, cujas propostas mais práticas serão discutidas neste trabalho.

### 1.1 – Justificativas

No processo de beneficiamento da madeira, apesar da importância enquanto atividade econômica, por diversas limitações tecnológicas e comerciais, além de perdas intrínsecas aos próprios processos, o índice de aproveitamento é muito baixo. Segundo MADY (2000), fica em torno de 50%, sendo que o volume de resíduos resultante apresenta-se como um material de difícil aproveitamento prático pelas empresas. Uma amostra destes resíduos é apresentada na figura 1.



**Figura 1 – Resíduos de madeira em fábrica de móveis e utensílios domésticos na Zona Metropolitana de Belém – Pa**

É sabido que todos os subprodutos das atividades industriais em geral, constituem um grande e indesejável problema gerencial, econômico e ambiental, devido à dificuldade de disposição geralmente associada a estes resíduos.

Comumente, estes resíduos acabam sendo apenas dispostos no ambiente resultando em um grande impacto ambiental, inclusive destruindo ecossistemas pela ação do xerume ou de outros agentes poluentes ou contaminantes. Contudo, grandes impactos positivos podem ser registrados em todos os ramos industriais, ao efetuar-se a reciclagem ou reaproveitamento destes subprodutos, caso haja tecnologia disponível.

Hodiernamente algumas empresas empregam estes resíduos na fabricação de briquetes ou os queimam em usinas termoeletricas para geração de energia (figuras 2, 3 e 4).



**Figura 2 – Resíduos de madeira em usina termoeletrica**



**Figura 3 – Usina termoeletrica (turbinas) – Belém – Pará**

A exploração seletiva de espécies vegetais, focalizando suas ações em espécies de maior valor comercial representa um impacto muito grande no meio ambiente, não permitindo a recomposição natural da cobertura vegetal. Além disso, as técnicas de extração fora das áreas de manejo planejado e certificado provocam a perda de vários espécimes de pouca ou nenhuma importância comercial que acabam não possuindo nenhum uso prático. DIAS (2000) registra que a cada seis minutos são perdidos 1,5km<sup>2</sup> de cobertura vegetal das florestas tropicais.



**Figura 4 – Usina termoleléricas – (caldeiras)**

Segundo NUMAZAWA (2003), a indústria madeireira amazônica produz regularmente um volume de resíduos correspondente aos seguintes percentuais em função do volume extraído: serragem 5 a 7%, costaneiras 15 a 20% e aparas 15 a 20%. Sendo que não entram neste cálculo, os volumes correspondentes ao material descartado durante a extração, ainda na floresta; por exemplo, galhos, sapopemas, árvores quebradas e troncos defeituosos.

Ainda segundo o mesmo pesquisador, no ano de 2000, somente no estado do Pará, o volume de resíduos gerado somente pelas serrarias ficou em torno de 89.034.000m<sup>3</sup>, sendo que algumas empresas chegam a produzir 1,6m<sup>3</sup> de resíduos por metro cúbico de madeira processada.





**Figura 5 – Fôrma de concreto**



**Figura 6 – Fôrmas e escoras.**

Desta forma, o desenvolvimento de materiais à base de madeira ou de suas fibras também deve ser considerado, pois permite que espécies de pouco valor, de menor porte, com defeitos no tronco, ou com pouca resistência a xilófagos e fungos; resíduos do processamento da madeira (serragem e maravalha); além da madeira já usada para outros fins, como pallets, formas e caibros de cimbramento (figuras 5 e 6), possam ser usadas na fabricação de materiais alternativos; inclusive com pequeno investimento. Dependendo dos usos pelo quais estes materiais já tenham passado, é possível haver um favorecimento das características desejáveis para o melhor desempenho do compósito.

As aplicações de aglomerados de madeira e cimento podem abranger desde painéis de fechamento de edificações sujeitas à ventos fortes, (onde é interessante a capacidade de dissipar energia antes do colapso total); barreiras anti-impacto; habitações populares; isolamento térmico; isolamento acústico; ou mesmo um “fusível<sup>1</sup>” estrutural, funcionando como um indicador de debilidade estrutural ou excesso de carregamento.

<sup>1</sup> Recurso estrutural onde uma peça não fundamental para a estabilidade da estrutura é projetada para estar submetida aos mesmos níveis de tensões de uma parte da estrutura. Caso haja excesso de carregamento acidental

Segundo CORETTI et al (2000), o uso de material combinando fibras vegetais com aglomerante inorgânico (cimento) em habitações populares, é uma excelente alternativa para o déficit habitacional em países da América central e da América do sul. Nestes países, a madeira é tida como um material de construção destinado a habitações de classes de menor poder aquisitivo, sendo que, a despeito do grande volume de recursos vegetais não há aceitação cultural da madeira como material de construção em níveis sócio-econômicos mais elevados; exceto em aplicações como a Madeira Laminada Colada (MLC). Nestes países, é mais facilmente aceito um material à base de aglomerante mineral, (cimento), caracterizando uma excelente aplicação potencial e de fácil aceitação para o grande volume de resíduos provenientes da indústria madeireira.

A utilização de compósitos derivados da madeira em uma matriz de cimento como material de engenharia vem sendo feita há anos em diversos países, mas, em aplicações bastante específicas, já que são poucos os dados disponíveis sobre a durabilidade em longo prazo deste material ou seu comportamento perante a fadiga (como em SILVA (2002), WOLFE (1999) e GASSAN (2001)), a ponto de sugerir sua utilização em estruturas ou com finalidade portante de maior risco.

Cabe ressaltar também, que a maioria dos estudos envolvendo o uso de material vegetal como agregado em matriz de cimento, foi feita para espécies de reflorestamento, e em condições climáticas diferentes do nosso país. Poucos estudos objetivaram tabular o comportamento de folhosas de clima tropical.

Desta forma é demonstrada a grande potencialidade do material, seja por permitir grande amplitude de utilizações práticas, pela possibilidade de incorporar grande diversidade de matérias-primas ora descartadas por outras indústrias, e pela conseqüente eliminação da disposição no ambiente de grande quantidade de material descartado.

## 1.2 – Objetivos

Objetivos gerais:

- Utilizar os resíduos da indústria madeireira da região Amazônica, na fabricação de compósitos madeira-cimento, através de um processo simplificado, para estimular a sua produção em canteiro de obra;

---

ou deformações, a ruptura desta peça (que possui menor resistência) ocorrerá antes do restante da estrutura permitindo intervenções.

Objetivos específicos:

- Estudar a variação da resistência à compressão do material desenvolvido, para os diferentes teores de adição de madeira, para dois tipos de cimento, três consumos de cimento diferentes, com e sem o uso de aditivo acelerador de pega.
- Divulgar a técnica empregada no trabalho para estimular uso de resíduos da indústria madeireira na fabricação de compósitos madeira-cimento.

### 1.3 – Limitações da pesquisa

- O resíduo de madeira utilizado é proveniente de uma única espécie: *Hymenolobium Petraeum* Ducke, nome vulgar: anjelim pedra
- As misturas aditivadas foram produzidas com aditivo acelerador de pega a base de cloreto de cálcio

## 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Muitas atividades industriais, como a produção fabril, o processamento de esgotos, álcool, papel e celulose, mineração e derivados, o lixo doméstico e a construção civil, geram resíduos de diversas naturezas, que freqüentemente são de difícil descarte e potencialmente danosos ao meio ambiente.

Conseqüentemente, verifica-se segundo BERALDO, (2003) que a própria indústria da construção apresenta potencial suficiente para absorver boa parte destes materiais.

A Organização das Nações Unidas (ONU), tratou do problema do aquecimento global na convenção-quadro assinada pelo Brasil na ECO-92, ao estabelecer limites de emissões de poluentes para a atmosfera por parte dos países desenvolvidos listados no Anexo 1. Este processo culminou em uma conferência realizada em 1995 em Berlim, Alemanha, oportunidade na qual um prazo de dois anos foi estabelecido para que novos compromissos legais fossem firmados objetivando delimitar rígidas compulsões a serem aplicadas principalmente aos países desenvolvidos.

Na seqüência, a cidade de Quioto no Japão foi a sede do terceiro evento da série, no qual os argumentos do que seria conhecido como Protocolo de Quioto foram finalmente cerzidos. Foi estabelecido então o compromisso de uma redução de pelo menos 5% nas emissões dos gases responsáveis pelo efeito estufa pelos países desenvolvidos.

O Protocolo considera como gases causadores do efeito estufa o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o metano ( $\text{CH}_4$ ), o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), hexafluoreto de enxofre ( $\text{SF}_6$ ), perfluorcarbonos, em particular o perfluormetano ( $\text{CF}_4$ ) e hidrofluorcarbonos (HFCs).

Também são arroladas as emissões potencialmente danosas, como a produção e uso de energia, processos industriais (à exemplo dos subprodutos da fabricação do cimento), uso de solventes, agropecuária, queimadas de cerrados, queima de resíduos agrícolas, e tratamentos de resíduos, lixo e esgoto.

Na região amazônica, o grande volume de madeira processada, e o igualmente grande volume de resíduos gerados são fortes inspirações para o desenvolvimento de técnicas para incrementar a taxa de aproveitamento da matéria-prima. Porém, cada etapa do processamento possui perdas intrínsecas de difícil eliminação. Além disso, grande parte do material é perdida

antes mesmo do processamento; seja nas espécies sem valor comercial, nas árvores defeituosas, ou em galhos, aparas e sapopemas.

Sobre a questão florestal, a Agenda 21, documento que cristaliza as discussões, propostas e soluções resultantes das conferências das Nações Unidas sobre o meio ambiente e desenvolvimento, ao fazer referência ao combate ao desmatamento, cita dois principais objetivos:

“a) ... ampliar o âmbito e a eficácia das atividades relacionadas ao manejo, conservação e desenvolvimento sustentável das florestas e garantir eficazmente a utilização e produção sustentáveis dos bens e serviços florestais, tanto nos países desenvolvidos como nos países em desenvolvimento.”

“b) Fortalecer e aumentar a aptidão humana, técnica e profissional, bem como os conhecimentos especializados e o fortalecimento institucional, para formular e implementar com eficácia política, planos, programas, pesquisas, e projetos sobre manejo, conservação e desenvolvimento sustentável de todos os tipos de florestas, e de recursos derivados das florestas, inclusive das áreas florestais, bem como de outras áreas das quais se possam extrair benefícios florestais.”

Neste panorama, torna-se evidente a necessidade do desenvolvimento de processos de reciclagem para os diversos rejeitos, refugos e subprodutos industriais, ou mesmo da criação de técnicas que permitam agregar valor a insumos de baixo valor agregado.

Porém, estes materiais geralmente não possuem propriedades capazes de caracterizá-los como materiais de engenharia; sendo necessário promover a sua combinação ou associação com outros materiais capazes de modificar estas peculiaridades, dotando-os de uso prático. A estas associações de materiais distintos, solidários e compatíveis, a engenharia aplica a denominação de compósitos.

O objeto de estudo deste trabalho, assim como a maioria dos materiais usados na construção pode ser classificado como um compósito. Desta forma sua fabricação deve partir de técnicas de produção já existentes com procedimentos comuns a outros materiais.

Os desenvolvimentos de novos materiais, e os aperfeiçoamentos tecnológicos dos já existentes, são impulsionados pela sempre crescente necessidade que o homem tem de extrair o máximo de desempenho térmico, acústico, e mecânico de materiais, aliados à leveza e economia; e também como potencial tecnologia de reciclagem de diversas matérias-primas, subprodutos, resíduos e refugos industriais. A produção de compósitos é hodiernamente



caracterizada por empregar processos de alta tecnologia, objetivando o desenvolvimento de características específicas, e direcionando o uso destes materiais.

Um material **compósito** pode ser definido como uma associação de duas ou mais fases distintas química e/ou fisicamente entre si, que através de certo processo de miscigenação podem solidarizar-se compondo um novo material com características distintas dos seus constituintes. Assim sendo, os compósitos são esquematicamente divididos em **fase aglomerante ou matriz** e **fase dispersa**, sendo a região de interface entre as duas conhecida como **zona de transição**.

Em materiais aglomerados pelo cimento, é possível verificar que a água de amassamento ao envolver os agregados, torna a relação água-cimento em torno destes, maior do que em outras partes da mistura. Neste cenário, se haverá o desenvolvimento dos cristais dos produtos hidratados do cimento responsáveis pelo ancoramento mecânico dos agregados.

Por estes motivos, soluções tecnológicas capazes de favorecer o desenvolvimento dos cristais, ou mesmo capazes de aumentar a densidade da zona de transição, resultam em grandes incrementos nas características físicas do compósito.

O desempenho da zona de transição acaba por influenciar largamente o comportamento do material. Desta forma, as propriedades características dos compósitos geralmente não são simplesmente a média entre as das fases componentes, pois as várias interações entre estas modificam o comportamento final. Desta combinação de materiais diferentes, porém compatíveis, é possível obter a potencialização de certas características, inclusive em detrimento de outras.

## 2.1 – Cimento Portland

O cimento portland é um aglomerante hidráulico cerâmico, fabricado a partir do clínquer finamente moído; fundamentalmente constituído de silicato de cálcio hidráulico. O termo aglomerante é empregado, pois o material possui capacidade de promover adesão. É dito hidráulico, pois ao reagir com água e adquirir resistência, produz substâncias chamadas de produtos hidratados, que são estáveis em presença de água.

Segundo CALLISTER (2000) o termo **cerâmico** provém do grego *keramikos* que significa matéria-prima queimada, ou seja, as propriedades características destes materiais são conseguidas através de um processo de tratamento térmico em altas temperaturas. Este processo é chamado de ignição.

## 2.2 – Fabricação do cimento

O cimento é produzido a partir de fontes naturais de cálcio e sílica; como a pedra calcária e as argilas respectivamente. Outros componentes das argilas também possuem função química no cimento por participarem da formação do silicato de cálcio, são eles a alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e óxidos de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), além de outras substâncias com pH alcalino (Álcalis).

O clínquer, é produzido, então, a partir da queima de quatro substâncias principais,  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , posteriormente combinados com sulfato de cálcio. A sílica ( $\text{SiO}_2$ ) é um material conhecido como formador de rede, ou seja, quando ionizado, pode formar cristais; quais sejam: a cristobalita, o quartzo e a tridimita; sendo a primeira a mais comumente encontrada entre os produtos hidratados do cimento.

Desta capacidade de formar estruturas cristalinas depende o desenvolvimento de resistência do cimento. Se as condições ideais para o desenvolvimento destes cristais não forem fornecidas ao sistema, ocorrerão problemas na hidratação, implicando em decréscimo dos parâmetros de resistência e desempenho finais do material.

Entretanto, o clínquer assim formado enrijeceria instantaneamente ao entrar em contato com a água, o que impossibilitaria seu uso prático na construção. Por este motivo é feita a adição de sulfato de cálcio, controlando assim a velocidade de pega.

O sulfato de cálcio pode estar presente na forma de gesso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), hemidrato ( $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ ) ou anidrita ( $\text{CaSO}_4$ ), ou ainda, de forma combinada.  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  são materiais cerâmicos com caráter predominantemente iônico, daí a característica de elevada reatividade do cimento em presença de água.

Segundo KATAR e ALMEIDA (1997) *apud* LATORRACA (2000) outras substâncias como a escória de alto-forno e pozolanas também fazem parte da composição do cimento. A escória de alto forno é um subproduto da fabricação do ferro gusa, que possui a capacidade de melhorar aspectos de desempenho final do cimento; além de representar uma economia de energia indireta; já que na presença de água é um ativador químico.

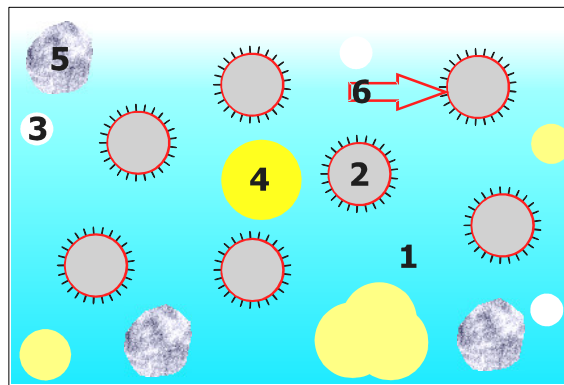
As pozolanas quando finamente moídas também possuem características aglomerantes, porém dependem da liberação de hidróxido de cálcio proveniente da hidratação do clínquer para desenvolver resistência.

### 2.3 – Hidratação do cimento

A hidratação do cimento é um complexo processo químico ainda não totalmente compreendido pela ciência, mas que pode ser esquematicamente dividido (segundo C. Vernet, 1995, *apud* Aïtcin, 2000) em cinco estágios básicos, descritos resumidamente a seguir:

#### 2.3.1 – ESTÁGIO 1: Período da mistura

As fases componentes do cimento portland ao entrarem em contato com a água de amassamento diluem-se rapidamente, produzindo em uma reação exotérmica dois hidratos de reação rápida: o Silicato de Cálcio Hidratado (abreviadamente conhecido como CSH) e a Etringita (sal trissulfoaluminato de cálcio hidratado) respectivamente formados pela combinação de íons  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{H}_2\text{SiO}_4^-$  e  $\text{OH}^-$ , originados da fase silicato do clínquer e,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{AlO}_2^-$ ,  $\text{SO}_4^-$  e  $\text{OH}^-$  originados da fase intersticial e nas diferentes formas do sulfato de cálcio presentes no cimento. Este primeiro estágio do processo de hidratação do cimento portland tem seu início a partir do instante em que este entra em contato com a água de amassamento da mistura, e tem duração aproximada de uma hora aproximadamente. (figura 7)

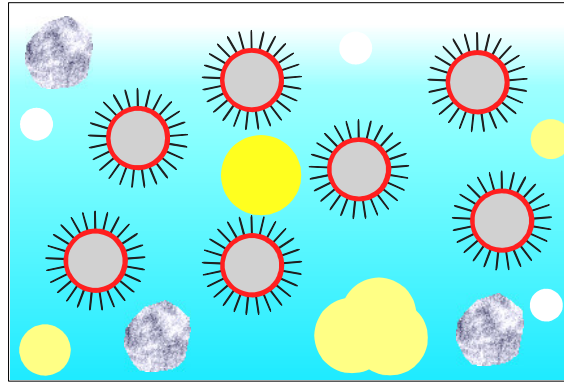


**Figura 7 – Período de mistura. Formação do C-S-H e Etringita na superfície dos grãos de clínquer.**  
**Legenda: 1) água; 2) Grão de clínquer 3) Gesso; 4) Ar; 5) Agregado; 6) Produtos hidratados.**  
 (C. Vernet, 1995, *apud* Aïtcin, 2000)

#### 2.3.2 – ESTÁGIO 2: O período dormente

Neste estágio, também com aproximadamente uma hora de duração, ocorre um rápido aumento do pH e do teor de  $\text{Ca}^{++}$  na água de amassamento, o que torna a dissolução do clínquer mais lenta. Pequenas quantidades de CSH (e possivelmente de etringita e aluminato de cálcio hidratado) são formadas. Apesar de a água estar saturada de  $\text{Ca}^{++}$ , não ocorre

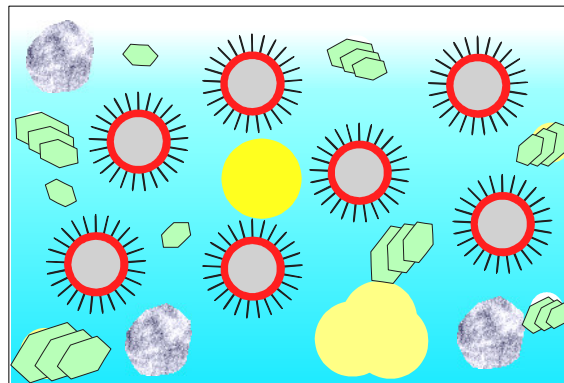
precipitação de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , devido a sua velocidade de formação ser menor do que a do CSH. (figura 8)



**Figura 8 – Período dormente**  
(C. Vernet, 1995, *apud* Aïtcin, 2000)

### 2.3.3 – ESTÁGIO 3: Início da pega

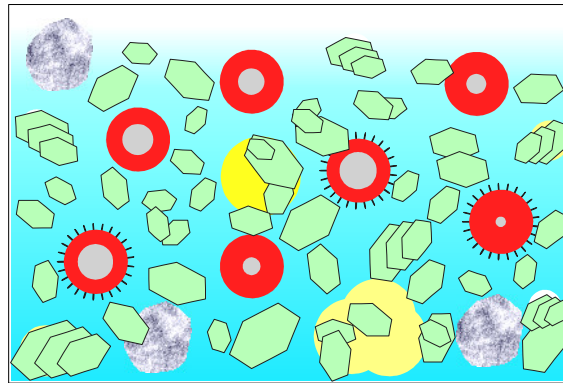
Após cerca de 4 horas de mistura, inicia-se o processo de pega, onde os íons  $\text{Ca}^{++}$  e  $\text{OH}^-$  são subitamente consumidos (formando  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , que precipita) permitindo que os outros componentes do cimento possam entrar em solução. Neste ponto, os silicatos e os aluminatos hidratados criam ligações entre as partículas, provocando o endurecimento da pasta de cimento. (figura 9)



**Figura 9 – Início da pega; súbito consumo do  $\text{Ca}^+$  e  $\text{OH}^-$  precipitando  $\text{Ca}(\text{OH})_2$**   
(C. Vernet, 1995, *apud* Aïtcin, 2000)

### 2.3.4 – ESTÁGIO 4: Endurecimento

De forma geral, as formulações de cimento portland possuem uma quantidade de Sulfato de Cálcio menor do que a necessária para reação com a fase aluminato, de tal forma que em um período entre 9 a 15 horas após a mistura, os íons  $\text{SO}_4^{--}$  são totalmente consumidos pela cristalização de etringita. A partir deste momento, a etringita passa a fornecer o sulfato necessário para a formação de monossulfoaluminato com a fase aluminato excedente. Esta reação exotérmica acelera a hidratação das fases silicato. (figura 10)



**Figura 10 – Endurecimento da pasta de cimento.**  
(C. Vernet, 1995, *apud* Aïtcin, 2000)

### 2.3.5 – ESTÁGIO 5: Redução de velocidade

Agora, como a superfície dos grãos de clínquer foi coberta por uma camada cada vez mais espessa de produtos hidratados, o acesso das moléculas de água às porções internas não hidratadas acontece de forma progressivamente mais lenta. Desta forma, a velocidade de hidratação torna-se cada vez menor por depender diretamente da difusão das moléculas de água nestas camadas de produtos hidratados.

O final da hidratação do cimento se dá de três formas:

- Quando não há mais fase anidra;
- Quando a água não consegue atingir porções anidras do cimento;
- Ou quando não há mais água disponível no sistema.

## 2.4 – Efeitos da adição de madeira em uma matriz de cimento

A presença dos resíduos na mistura interfere de várias formas no processo de hidratação do cimento. Primeiro por inserir substâncias de pH predominantemente ácido, o

que isoladamente já interfere diretamente na hidratação a partir do segundo estágio, onde a alcalinidade se desenvolve. Segundo, por impregnar a água de amassamento com os extrativos, diminuindo a quantidade de água livre disponível no sistema em todo o processo.

A terceira influência tem haver com as modificações das propriedades físicas e tensão superficial da água, provocadas pelos extrativos. Aditivos tensoativos são comumente fabricados através dos extrativos de vegetais, como por exemplo, o óleo de pinho (ácido adibético) ou ácido glucônico, estes materiais podem ser classificados como aditivos incorporadores de ar e redutores de água, respectivamente. Ambos são ácidos carboxílicos de alta solubilidade.

Seu mecanismo de funcionamento baseia-se numa drástica redução da alta tensão superficial da água, característica derivada das pontes de hidrogênio. Desta forma, a natureza polar das moléculas orgânicas destes, confere propriedades hidrófobas à superfície dos grãos do cimento, resultando em certa incorporação de ar em torno destes e conseqüentemente reduzindo a velocidade de hidratação.

Outro fator possivelmente contribuinte para a redução da velocidade de hidratação do cimento é o fato de que este é um processo baseado em mecanismos de dissolução e precipitação, como vimos, a hidratação do cimento começa com a ionização do material anidro, e a posterior formação de produtos hidratados em solução; sendo estes relativamente estáveis em água, (daí a classificação do cimento como aglomerante hidráulico) ocorre a sua cristalização e precipitação na mistura.

Os fenômenos de enrijecimento, a pega e o endurecimento da pasta de cimento são diretamente decorrentes da dissolução e cristalização destas substâncias e do equilíbrio destas reações, logo, dada a elevada solubilidade dos ácidos e sais carboxílicos encontrados na madeira, além do seu pH ácido, é razoável admitir a sua influência no processo de hidratação do cimento.

## 2.5 – Aplicações dos compósitos

O desenvolvimento de compósitos novos bem como o aperfeiçoamento e compreensão dos mecanismos de funcionamento químico dos já existentes fazem com que a grande diversidade de aplicações para compósitos seja sempre crescente, resultando em materiais com desempenhos cada vez melhores; não só no fornecimento de materiais para a construção civil, como também para todos os outros ramos da indústria. Atualmente a maioria absoluta

dos materiais de construção pode ser classificada como compósito; sendo aplicados desde as fundações, e estruturas até às coberturas e acabamentos.

### 2.5.1 – Estruturas

As aplicações estruturais dos compósitos são de diversidade comparável às variadas tipologias de compósitos. Provavelmente, os compósitos de aplicações estruturais mais conhecidos e usados sejam os concretos de cimento portland simples e armado; aplicados tanto na construção de pequenas estruturas para habitações quanto em estruturas muito grandes como as barragens (figura 11) ou mesmo com função artística ou estética (figuras 12 e 13). Outros materiais enquadram-se na mesma classificação, como as fibras de carbono, e os compósitos poliméricos usados na aeronáutica.



**Figura 11 – Usina hidrelétrica Itaipu Binacional – Foz do Iguaçu – PR.**



**Figura 12 – Escultura – Brasília – DF.**

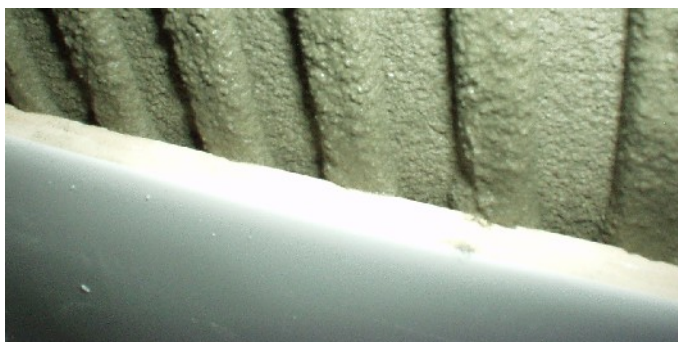


**Figura 13 – Painel do barrageiro (Fragmento) – Foz do Iguaçu – PR.**

Diversas propriedades são desejáveis na produção de derivados do cimento, como: ductibilidade, economia, resistência à abrasão, e impermeabilidade; cabendo ao tecnologista, efetuar um procedimento de dosagem e escolher os outros componentes com propriedades correlatas.

### 2.5.2 – Revestimentos

Praticamente todos os revestimentos usados na construção civil são compósitos, desde as tintas e resinas às argamassas e cerâmicas. Frequentemente, os revestimentos além de conferir efeito estético a um ambiente, também desempenham funções de proteção mecânica ao substrato no qual foram aplicados, (figura 14), ou mesmo conferir isolamento térmico e acústico.



**Figura 14 – Revestimento cerâmico aplicado sobre argamassa colante.**

Para o caso específico de revestimentos argamassados, BASTOS (2002) cita a grande ocorrência de fissurações em planos de fachada de edificações; em grande parte causada pelos efeitos das diversas formas de retração, combinadas com baixas resistências à tração e altos módulos de deformação de ocorrência comum nos materiais aplicados.

Todos os materiais de revestimento devem oferecer resistência aos esforços resultantes das condições de utilização; suportando carregamentos, movimentações e atritos. Comumente é necessário também que ofereçam resistência química a eventuais agentes agressivos, seja em um laboratório, uma cozinha industrial ou mesmo aos materiais de limpeza de uso doméstico.



### 2.5.3 – Isolamento Térmico

Como isolante térmico, os compósitos têm como característica a combinação de materiais de baixa densidade com materiais de média ou alta densidade. Esta associação se faz necessária, pois o coeficiente de condução térmica característico de cada material é dependente de sua densidade. Logo, é possível combinar um material dito isolante ou de baixa condutividade térmica com outro material capaz de oferecer melhor desempenho como revestimento.

Os blocos cerâmicos usados para construção de alvenarias representam um exemplo prático desta associação, ao permitirem o confinamento de certa massa de ar em seu interior, é possível obter certo grau de isolamento. No exemplo da figura 15, a temperatura externa  $T_1$  é menor que a temperatura externa  $T_2$ .

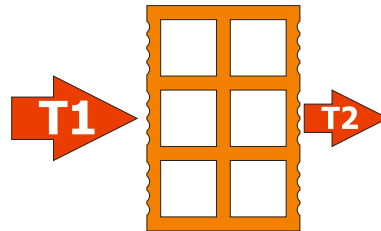


Figura 15 – Bloco cerâmico atenuando temperatura.

### 2.5.4 – Isolamento Acústico

O isolamento acústico requer a capacidade de absorver e dissipar as ondas sonoras em um ambiente. Como no caso do Isolamento térmico, materiais de baixa densidade devem ser usados, porém nem sempre possuem acabamento rígido.

Frequentemente o isolamento acústico é obtido com materiais dotados de geometria especial na superfície de acabamento.

É comum serem oferecidos no mercado, soluções de isolamento **termoacústico**, devido a uma superposição de efeitos destes materiais.

### 2.5.5 – Proteção Mecânica

Compósitos reforçados com fibras possuem a capacidade de dissipar esforços mecânicos ao longo de sua estrutura; por isso oferecem boa resistência a impactos. Este efeito será tão maior quanto maior for a ancoragem das fibras na matriz, através da zona de transição. São comumente usados para a proteção de instalações hidro-sanitárias em locais

onde houver a possibilidade de danos por impacto. Seu funcionamento é análogo ao do concreto armado, onde as fibras concentram as tensões de esforços externos que lhes são transmitidas pela matriz.

BOSER (2002) mostra que nos últimos anos da década de 1990 o uso de materiais e painéis leves anteriormente usados como proteções mecânicas aumentou mais de 70% nos Estados Unidos, só que para a construção de habitações. Em linhas gerais, as principais vantagens destes materiais vão além do fato de serem simples proteções mecânicas, mas por permitirem controle dos parâmetros de conforto ambiental das edificações, por reduzirem os custos e desperdícios na construção e por serem potencialmente recicláveis no fim da sua vida útil.

Como matérias-primas potencialmente aplicáveis, o autor cita além das fibras de madeira, plásticos, espumas sintéticas usadas em embalagens e até mesmo outros materiais derivados do cimento portland.

Com base nestes estudos; em que conclui ser possível reduzir custos de insumos, de elaborações e aplicações; BOSER (2002) sugere que com crescente frequência de utilização de materiais reciclados, plásticos e outros materiais sintéticos na construção civil, se faz necessária uma atualização nos métodos de construção tradicionais; e também destina parte da responsabilidade deste desenvolvimento aos educadores, que são os principais formadores de opinião de novos profissionais.

#### 2.5.6 – Restaurações

As restaurações de edificações antigas e de importância histórica são dependentes de materiais quimicamente compatíveis ou similares aos originais. Como nem sempre é possível determinar com absoluta certeza a composição destes, a não ser por análise mineralógica, materiais quimicamente inertes após preparação inicial são preferencialmente aplicados.

Cabe ressaltar que o compósito madeira-cimento, em função de suas propriedades químicas, vem sendo regularmente usado em restaurações de edificações antigas na Europa (RIM 1999).

A pesquisa de RIM (1999) demonstrou que o uso de materiais vegetais em matrizes de cimento, é um procedimento viável, ao analisar características térmicas e mecânicas do material. Em seu trabalho foi verificado que a adição da madeira resultou em aumento na capacidade de isolamento térmico, decréscimo de resistência mecânica, e aumento da

deformabilidade. Nestas misturas também foi adicionada argila de solo aluvionar, cuja análise mineralógica demonstrou ser predominantemente composta de caulinita, contendo cerca de 5% de quartzo.

No trabalho de RIM, foram aplicados teores de 10 a 40% de madeira, obtendo-se desta forma material com porosidade excessiva, em geral, teores elevados de agregado vegetal resultam em materiais com características indesejáveis. A taxa de absorção de água relativamente baixa do material, e o deslocamento do pH em direção à escala ácida (mais ainda assim permanecendo alcalino), além do isolamento térmico foram as principais características responsáveis pelo uso em restaurações.

O IRC, Institute for Research in Construction, instituição de pesquisa canadense, publicou em 2000, um relatório sobre as suas atividades de restauração da Biblioteca do Parlamento Canadense; esta por sua vez é uma estrutura em forma de domo, construída entre 1859 e 1876 em alvenaria estrutural e arcos. Em reparos desde que sofreu um incêndio em 1952, atualmente o prédio está sendo reformado para a instalação de um novo sistema integrado de aquecimento, ventilação e condicionamento de ar (HVAC – Heating, Ventilating and Air Conditioning), criação de um novo nível de subsolo para a instalação destes equipamentos, novos sistemas de subcoberturas, e reabilitação das alvenarias e arcos de sustentação. Nesta reabilitação, grandes quantidades de materiais leves foram usadas, inclusive argamassas com fibras vegetais, atuando principalmente como isolamento térmico entre os condutos de vapor e as alvenarias existentes.

Outros tipos de materiais leves foram usados na restauração do revestimento das alvenarias externas, bastante deterioradas pela ação do clima, particularmente, de ciclos de gelo e degelo.

## 2.6 – Tipologias de materiais compósitos

De acordo com o tipo de material componente da fase dispersa, é possível classificar os compósitos em três tipos distintos, a saber:

- 1) Compósitos reforçados com partículas;
- 2) Compósitos estruturais;
- 3) Compósitos reforçados com fibras

### 2.6.1 – Compósitos reforçados com partículas

São os fabricados com materiais aglomerantes e uma fase sólida composta por um material apresentado na forma de partículas ou grânulos. Subdividem-se em dois grupos, dependendo do tamanho das partículas da fase aglomerada.

#### – Partículas grandes

O termo “grandes” é empregado para ilustrar o tipo de interação existente entre as partículas e o aglomerante; que não pode ser definida como predominantemente de nível atômico ou molecular. Comumente, as partículas são muito mais resistentes do que a fase aglomerante. Enquadram-se nesta definição, a argamassa, e o concreto de cimento portland.

#### – Dispersão coloidal

Já os compósitos por dispersão coloidal possuem partículas muito menores, sobre as quais efeitos de escala atômica ou molecular são preponderantes. Sua formação se dá de forma análoga à da solidificação por precipitação de sólidos.

### 2.6.2 – Compósitos estruturais

Esta tipologia de compósito tem como característica a dependência das características geométricas de seus componentes para que sejam determinadas as suas características finais. Enquadram-se nesta definição o compensado de madeira e os painéis em sanduíche. O compensado é uma técnica de madeira transformada que consiste na colagem sucessiva de diversas lâminas de madeira dispostas de maneira que suas fibras sejam orientadas em direções perpendiculares a cada camada aderida. Painéis do tipo sanduíche, empregados na aeronáutica, pisos, painéis e divisórias, e embalagens são diferentes tipologias da mesma tecnologia.

### 2.6.3 – Compósitos reforçados com fibras

Os compósitos reforçados por fibras possuem características bastante distintas dos compósitos reforçados por partículas. Seu comportamento depende não somente da resistência das suas fases, mas principalmente da capacidade de transferência de esforços entre as fibras e a matriz por efeito de ancoragem ou resistência ao arrancamento. Segundo GUINIER (1996),

os compósitos reforçados com fibras têm como comportamento característico uma boa resistência a impactos, e em pelo menos uma direção, uma grande resistência à tração; caso haja orientação das fibras. A solidarização mecânica ou ancoragem das fibras determinará o comportamento final do compósito, frequentemente, de forma independente das características mecânicas das fases. DANTAS (1987; 2003) corrobora este ponto de vista, ao postular o resumo de propriedades de comum observação em compósitos fibrosos:

- A massa específica resultante do compósito é praticamente definida pela matriz
- Observa-se normalmente uma redução da resistência à compressão axial
- Normalmente se tem aumento da relação entre a resistência à tração na flexão e a compressão axial
- Há uma mudança no comportamento das curvas tensão  $\times$  deformação conferindo ao compósito uma maior ductilidade que aquela da matriz
- Aumento da resistência ao impacto, sendo essa maior interferência no comportamento do compósito endurecido.

É razoável admitir que esta ancoragem das fibras na matriz aglomerante é diretamente ligada à textura superficial das fibras. Podem ser fabricados a partir de uma grande gama de materiais fibrosos, desde monocristais minerais de alta resistência como os whiskers, até fibras metálicas ou sintéticas como nylon e kevlar; passando por fibras vegetais como o sisal e a juta.

Os Whiskers são monocristais produzidos de forma a serem livres de defeitos como as discordâncias de plano e de linha em suas estruturas cristalinas. Seu desenvolvimento surgiu da necessidade de melhorar o desempenho mecânico de metais. Nestes, são comumente usados whiskers de  $Al_2O_3$ , que podem atingir resistências da ordem de 7000MPa. Este comportamento só é mantido caso não haja deformação plástica no material; pois desta forma surgiriam discordâncias cristalinas.

## 2.7 – Compósito madeira-cimento

O compósito à base de cimento e madeira pode ser definido como uma argamassa de cimento portland na qual parte ou toda a fração do agregado mineral foi substituída por

material orgânico vegetal, podendo ser obtidos pela fragmentação mecânica do tecido lenhoso de vegetais superiores ou através da coleta de resíduos da indústria madeireira.

Compósitos madeira-cimento geralmente são divididos em duas categorias:

- 1 – Compósitos com partículas de madeira;
- 2 – Compósitos com fibras de madeira

A primeira tipologia tem aplicação primariamente arquitetônica, para isolamento térmico e acústico; e a segunda, foi inicialmente desenvolvida na década de 1970 para substituir o cimento-amianto, por possuir melhores características mecânicas; estando o processo de fabricação destes compósitos atrelado ao tipo de resíduos disponíveis e ao desempenho e características esperados.

O CEPED – Centro de Pesquisas e Desenvolvimento apresentou no início da década de 1980 os primeiros estudos para a fabricação de materiais à base de fibras vegetais no Brasil. Àquele momento em substituição do amianto de telhas pré-moldadas. Nestas pesquisas ficou constatado que fibras de grande comprimento, ou seja, acima de 270mm apresentam melhor desempenho.

A utilização deste material tem sido primariamente impulsionada devido à sua boa resistência a degradações de forma geral; por ação de insetos e fungos quando comparado à madeira não tratada. AGOPYAN e SAVASTANO Jr. (1997) demonstram que as fibras vegetais possuem baixo módulo de elasticidade e elevada resistência à tração. E ao serem associadas a uma matriz cimentícia, obtém-se um material de proeminentes propriedades de isolamento acústico e térmico; além de ser um material com modo de fissura por dissipação de energia, capaz de trabalhar no estágio pós fissurado; com excelente aplicabilidade em situações de carregamento constante e grande resistência a impactos. Segundo HACHMI e CAMPBELL (1989) *apud* LATORRACA (2000), este é um dos únicos materiais estruturais a base de madeira que apresenta resistência elevada à ação do fogo, decomposição e insetos simultaneamente.

Na literatura técnica consta o uso de resíduos vegetais provenientes de diversas fontes, dentre elas podemos citar a indústria madeireira, de papel e celulose, de papel reciclado, *pallets*, entulho de obra (madeira), ou mesmo galhos e troncos de menor diâmetro, de espécies comerciais ou não; para o fornecimento de fibras, conforme as pesquisas de WOLFE (1999) SMITH (2000), SAVASTANO (2000), PIMIENTA (1994), GRANDI (1999), FALK (1999 e 1994) e HACHMI (1988).

HACHMI (1988) conduziu estudos sobre o compósito cimento-madeira, com o objetivo de determinar parâmetros de compatibilidade para diversos teores de madeira e

também para seis diferentes espécies vegetais. Nesta pesquisa, HACHMI (1988) comparou a curva de hidratação de argamassas comuns com a curva de hidratação do compósito; e para os materiais usados, (cimento CPI e espécies de clima temperado); obteve como conclusão o valor de 7% em massa para o valor máximo de adição de madeira, sem que houvesse prejuízos consideráveis ao material.

WOLFE (1999) em um primeiro momento procurou aplicar na produção do compósito, a madeira reciclada, ao invés da madeira e/ou serragem, recém obtidas ou processadas, comumente usadas em outras pesquisas.

Suas indicações de uso para o material levam em consideração a baixa resistência obtida para as misturas estudadas, frequentemente inferior à da madeira usada; porém, ao estudar-se os diagramas de tensão versus deformação do material, foi possível verificar a ocorrência de fratura predominantemente dúctil, e por este motivo, o caracterizando como um material de engenharia em potencial.

Neste trabalho, WOLFE (1997) sugere que a padronização de insumos e procedimentos de fabricação podem contribuir para o desenvolvimento do material, principalmente no que se refere a sua resistência à compressão.

Em trabalho posterior, WOLFE (1999) sugere a possibilidade de fabricação de elementos e peças estruturais inclusive em situações de livre exposição à atmosfera e às intempéries; ou mesmo como proteção para peças estruturais comuns. Para chegar a estas conclusões, WOLFE (1999) fabricou painéis de cimento-madeira com resíduo vegetal previamente tratado com CCA (Arseniato de Cobre Cromatado), aditivando a mistura com acelerador de pega à base de cloreto de cálcio; do mesmo tipo usado nesta pesquisa. Os painéis produzidos ficaram expostos ao ambiente por um período de 7 anos, depois seccionados em 9 áreas e em seguida cada área foi individualmente estudada para verificarem-se os efeitos da exposição. Desta análise, verificou-se a equiparação do desempenho do compósito ao de materiais tradicionais à base de cimento.

Outras aplicações com alto valor agregado podem ser vistas na compilação publicada pela University of New South Wales, em Sidney, Austrália, no ano de 2000; onde são citados os usos enumerados abaixo:

a) Condicionamento de solos

Esta tecnologia permite a liberação controlada de substâncias no solo, por exemplo para efetuar-se o controle de pragas ou correções de ordem química; além de controle de erosão.

#### b) Fertilização de solos

Fertilizantes podem ter aplicação controlada por meio de técnica similar, tomando-se partido da porosidade naturalmente obtida.

#### c) Artesanato

O compósito de fibras de madeira combinadas em matriz de cimento pode ser usado em substituição ou mesmo em complementação às argilas usadas em diversas formas de artesanato ou esculturas, nesta aplicação, a presença das fibras permite a moldagem de peças mais esbeltas.

#### d) Paisagismo

A natureza do material produzido desta forma, o torna mais similar quimicamente às condições de exposição nos solos, ou seja, tem seu pH deslocado em direção à escala ácida e possui matéria orgânica na composição. A tecnologia conhecida como solo-cimento produz material de propriedades similares.

Para aplicações de baixo valor agregado, é possível citar a revitalização de áreas de extrativismo mineral ou de aterros sanitários, onde é necessária a execução de um substrato capaz de suportar uma nova cobertura vegetal.

Nas conclusões, são discutidos fatores como a necessidade de efetuar moagem o mais fina possível, tomando-se precauções quanto à integridade dos operadores dos equipamentos devido à alta toxicidade do material principalmente se a madeira em uso for proveniente de aplicações em que substâncias preservativas foram aplicadas.

Para estas aplicações, é recomendável o uso de traços pobres em cimento, o que significa que a decomposição natural do material deverá ser controlada e/ou levada em consideração durante a dosagem e execução dos artefatos. SMITH (2000) demonstra a importância de tecnologias de reciclagem de subprodutos da madeira, pois os materiais resultantes comumente possuem grande valor agregado.

O grande volume de serragem proveniente do processamento da madeira, mesmo em plantas muito bem equipadas é um outro fator estimulante para a busca de utilizações mais nobres e ecologicamente corretas deste material. Segundo DIAS (2000), para cada tonelada de materiais derivados de celulose reciclados, 17 árvores são preservadas, 26 mil litros de água potável são economizados, e deixam de ser lançados no ar 27 kg de poluição, além, é claro, do volume de uma tonelada de lixo que deixou de ser disposto no ambiente.

Segundo artigo publicado pela revista Referência Madeira (2003), uma única empresa chega a produzir três mil toneladas por mês de resíduos na forma de serragem. Ainda segundo



a mesma fonte, nos países em que a utilização do amianto foi banida, tornou-se corrente o uso do “amianto vegetal”, que nada mais é do que os resíduos do processamento da madeira submetidos a um tratamento como o processo Kraft para a eliminação dos extrativos.

NORTHEY mostra que em 1990, o consumo global de madeira foi de 3,5 bilhões de m<sup>3</sup>, sendo que deste total, 54% foram destinados à queima para geração de energia, 33% foram empregados em usos industriais (construções, mobiliários, utensílios, etc...) e os 13% restantes foram consumidos na indústria de papel e celulose. Neste levantamento, não estão computadas as perdas intrínsecas ao processo de extração de madeira, que em termos absolutos pode facilmente chegar a 50% segundo BAUMANN (2000).

A literatura técnica apresenta um número bastante reduzido de pesquisas deste tipo para espécies vegetais tropicais. E, para as espécies da Amazônia em particular, este é um trabalho pioneiro. Como a maior parte dos estudos existentes foi feita com base em espécies de reflorestamento, é necessário reavaliar os processos de fabricação para o uso de espécies nativas da Amazônia.

Pesquisas existentes apontam as Coníferas como dotadas de vantagem sobre as Folhosas no desenvolvimento de compósito cimento-madeira, por possuírem menor quantidade de extrativos capazes de interferir negativamente no processo de cura do cimento. Porém, muitas madeiras existentes na natureza (mesmo com problemas de compatibilidade com o cimento) podem ser aplicadas na fabricação do material, desde que sejam submetidas a tratamento adequado.

Desta forma, várias técnicas vêm sendo desenvolvidas com o intuito de melhorar as características do material e permitir uma maior gama de espécies vegetais utilizáveis.

## 2.8 – Critérios básicos para produção do compósito madeira-cimento

A adequação do uso da madeira neste material tem sido feita a partir de diferentes critérios, dos quais os quatro mais utilizados são exemplificados abaixo.

### 2.8.1 – Escolha da espécie

Algumas coníferas podem ser aplicadas sem tratamento por serem naturalmente mais compatíveis do que as folhosas. Esta diferença é atribuída à quantidade de extrativos

presentes, que nestes casos tende a ser menor. A análise química e mineralógica de efluentes de banhos térmicos pode determinar a liberação de extrativos por diferentes espécies.

#### 2.8.2 – Tratamento dos resíduos vegetais

A fase vegetal do material pode ser tratada de forma a retirar-se ou inibir-se a ação dos extrativos. Este procedimento geralmente consiste na impregnação da madeira por materiais como parafina, óleos ou epóxi; ou ainda, na remoção destes extrativos por lavagem.

A estrutura das células vegetais tem por característica a presença de espaços vazios, onde são armazenados os extrativos; os tratamentos por impregnação inibem a liberação destes extrativos por obstruírem estes espaços imobilizando-os.

#### 2.8.3 – Aditivação do aglomerante

O cimento pode ser aditivado para que o efeito de aumento do tempo de pega seja contraposto. Segundo a literatura técnica, aditivos à base de cloreto de cálcio apresentam desempenho superior aos outros tipos disponíveis no mercado; por este motivo, foi o procedimento adotado neste trabalho.

#### 2.8.4 – Aceleração da cura por métodos externos

As técnicas de aceleração de cura por fatores externos à mistura, comumente empregadas na fabricação de pré-moldados, como a injeção de gás carbônico também podem ser usadas.

De forma pouco proeminente é possível citar um quinto critério, ainda pouco explorado, que é o controle da reologia, alguns pesquisadores, como BOUGUERRA (1998) e RIM (1999) que desenvolveram materiais a partir de misturas com argila, e GHAVAMI (1998) com material de composição similar ao solo-cimento.

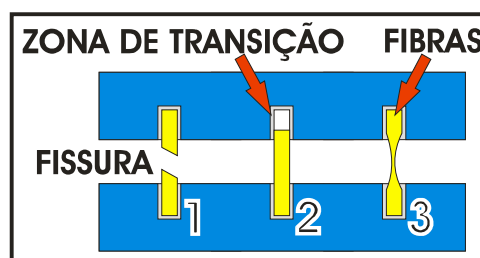
De forma geral a escolha do método a ser aplicado deve levar em consideração o custo e a produtividade aceitáveis para a finalidade a que o material se destina. Neste trabalho, foi avaliada a influência do aditivo acelerador de pega no desempenho do material na tentativa de

se obter um procedimento simplificado de obtenção do material estimulando sua fabricação em obra.

Segundo SAVASTANO et al (1994) a adição de fibras com formato irregular, (a exemplo das fibras vegetais), apresenta uma vantagem a nível microestrutural na zona de transição entre a pasta e as fibras, quando comparadas com fibras metálicas ou poliméricas; (lisas, cilíndricas e regulares); seu formato permite melhor solidarização entre a matriz aglomerante e as fibras, resultando em resistências à tração até 10% maiores.

O comportamento mecânico de um material depende de sua capacidade de absorver as tensões mecânicas a que estiver submetido, traduzido na sua tenacidade e capacidade de manter íntegras as suas características microestruturais perante tais esforços. Assim sendo, materiais com fibras em sua composição apresentam comportamento diferenciado. Além de depender da natureza dos materiais em si, os compósitos (mesmo os não-fibrosos) dependem de forma extensa das propriedades da interface entre as diferentes fases que o compõem. Esta interface é a chamada Zona de Transição.

No caso das fibras orgânicas, existem alguns problemas de compatibilidade química concorrendo para a degradação das características do compósito. Como produto de hidratação, o cimento apresenta diversos minerais altamente alcalinos, dentre eles o hidróxido de cálcio. O excesso deste mineral (também conhecido como portlandita) na mistura pode levar a dois efeitos indesejáveis: a alta porosidade na mistura diminuindo a ancoragem das fibras na matriz e a decomposição das fibras, já que estarão em contato direto com material altamente alcalino (SILVA 2002). Desta forma, as fibras no interior de um compósito podem apresentar 3 comportamentos distintos em face de uma sollicitação mecânica, conforme a figura 16



**Figura 16 – Comportamento das fibras no interior de um compósito, ao longo de uma fissura. SILVA (2002)**

1 – Ruptura – A fibra atinge esta condição quando perfeitamente ancorada na matriz, rompe por tração contribuindo efetivamente no comportamento do material.

2 – Arrancamento – A zona de transição não confere ancoragem suficiente e a fibra desprende-se da matriz antes de romper-se; desta forma, a fibra absorverá pequena parcela do esforço, e somente até desprender-se.

3 – Fibra deformada – A fibra possui condição de ancoragem e resistência à tração suficiente para atravessar a fissura e assim absorver parte do esforço.

## 2.9 – Efeitos indesejáveis

Esta associação não ocorre isenta de problemas, pois os materiais tendem a ser naturalmente incompatíveis, apresentando efeitos secundários indesejáveis um sobre o outro mutuamente.

### 2.9.1 – Retardamento de pega

Segundo a literatura técnica, o emprego de material vegetal em uma matriz de cimento também apresenta efeitos deletérios sobre o aglomerante. É possível haver um grande retardamento ou até o impedimento total do processo de pega do cimento. Alguns autores como MEHTA (1994) não recomendam o uso de material orgânico como componente aglomerado por cimento portland; justificado pelo forte efeito de retardamento de pega neste. Tal efeito indesejável, derivado da natureza ácida e dos açúcares dos extrativos da madeira, é possível de ser combatido de diversas formas, dentre elas o uso de aditivos aceleradores de pega, ou mesmo combinando-se a escolha de espécie vegetal com lenta liberação de extrativos na presença de água com o uso simultâneo de agregados minerais.

### 2.9.2 – Instabilidade dimensional

Outro efeito registrado por alguns autores, como GASSAN (2001) é a instabilidade dimensional; particularmente a retração. Para espécies de baixa densidade, em misturas contendo somente as fibras vegetais e cimento portland, este efeito é potencializado. Entretanto ao se combinar na mistura agregado miúdo de origem mineral (areia) este efeito é parcialmente pugnado. GASSAN observa também que o compósito cimento-madeira apresenta retração menor do que a das argamassas comuns.

Segundo BASTOS (2000), a retração em compósitos de cimento está associada a uma deformação; e é decorrente de fenômenos de diversas naturezas. De forma geral é sabido que a principal causa da retração nos compósitos à base de cimento está relacionada à perda de água. Como o ambiente de exposição geralmente possui umidade menor que 100%, é natural esperar-se a perda de água; e, para as situações em que estão sendo executados revestimentos ou outros artefatos com grande área de exposição, a incidência de ventos potencializa o problema.

Além destes, outros quatro fatores contribuem para a retração; a retração térmica, a carbonatação, a hidratação do cimento e a retração autógena. A literatura técnica concentra estes efeitos em quatro grupos listados a seguir:

#### I – Quanto ao estado físico

Retração plástica: ocorre antes da pega do cimento, e portanto a redução de volume é igual à variação de volume observada.

Retração no estado endurecido: ocorre após a pega do cimento, e neste caso, como a rede de produtos hidratados que é a responsável pelo ganho de resistência do material já começou a se desenvolver, o volume de água perdido não é igual à redução de volume do material. Este fenômeno depende diretamente da forma como a água está ligada ao sistema.

#### II – Quanto à natureza

Retração por perda de água: ocorre no estado fresco e endurecido, devido à umidade do ambiente de exposição ser menor que 100%. Seu desenvolvimento pode ser combatido pela dosagem correta dos materiais, inibindo a exsudação, pela proteção das peças após a moldagem ou mesmo pela aplicação de aditivos ou adições retentores de água.

Retração por hidratação ou retração química: este efeito foi registrado pela primeira vez por Le Chatelier, e ocorre, pois o volume dos produtos hidratados é menor do que o volume inicial. Pode atingir valores da ordem de 10% porém não significa ser possível visualizar este efeito macroscopicamente já que o material endurecido possui vazios em seu interior.

Retração autógena ou endógena: ocorre em sistemas fechados, onde não é possível a troca de umidade com o meio externo. Este efeito é observado no interior de peças de grande volume ou em corpos-de-prova protegidos.

Retração por carbonatação: à medida que o  $\text{CO}_2$  da atmosfera reage com os compostos hidratados, é verificado tanto o aumento de massa quanto a diminuição de volume. Estima-se

que pode haver incremento de massa da ordem de 35% para cada mol de portlandita ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) transformado em calcita ( $\text{CaCO}_3$ ).

Retração térmica: é observada em peças de grande volume, após o pico de calor proveniente da hidratação. Em peças menores, este é um efeito externo, observável sempre que houver variação diária e/ou sazonal da temperatura ambiente.

### III – Quanto ao grau de restrição

Retração livre: ocorre quando não há nenhum impedimento à movimentação do material, por exemplo, é o que ocorre na retração de corpos de prova.

Retração restringida: este efeito é observado nos casos em que o material está aplicado sobre um substrato capaz de limitar sua mobilidade, ou ainda quando houver agregados ou armaduras. Desta forma pode ocorrer acúmulo de tensões internas possivelmente levando ao desenvolvimento de fissuras.

### IV – Quanto à permanência

Retração reversível: denominação aplicada à parte da retração recuperada com a molhagem do material após sua secagem inicial.

Retração irreversível: parcela da retração que permanece após ciclos de molhagem e secagem. A maior parte deste efeito é verificada após a primeira secagem, sendo que parcelas menores poderão ocorrer a cada secagem em outros ciclos.

## 2.10 – Tratamentos de compatibilização

A definição de compósito adota o termo “**compatíveis**” ao referenciar-se aos materiais componentes das fases. Porém, a madeira e o cimento são materiais naturalmente **incompatíveis**. Esta incompatibilidade manifesta-se em efeitos indesejáveis sobre as fibras e o cimento. Assim sendo, ao associarem-se estes dois materiais, é necessário promover artificialmente a sua solidarização.

Ao combinar-se a madeira sem tratamento com o cimento, é normal observamos a ocorrência de efeitos deletérios sobre ambos os materiais:

1) As fibras lignocelulósicas da madeira sofrem ataque dos álcalis do cimento, podendo ser prematuramente decompostas (WOLFE – 1999). Geralmente, tratamentos à base

de impregnação por parafinas, óleos (LEDHEM – 1999), epóxi dentre outras substâncias são recomendados para que a velocidade de decomposição seja reduzida.

2) O cimento sofre o ataque dos extrativos, principalmente ácidos, resultando em um retardamento de pega análogo ao observado quando da adição de aditivos retardadores. Aditivos plastificantes lignosulfonatos (cuja matéria prima é a madeira) também provocam um pequeno retardamento de pega.

É consenso entre diversos pesquisadores o fato de que a zona de transição é fortemente atingida pela introdução de uma fase ácida no sistema em hidratação. Deste modo, a acidez dos extrativos da madeira contribui para a formação de uma zona de transição particularmente fraca e de pouca densidade em torno das fibras, efeito associado a um material muito poroso, permitindo o desenvolvimento de uma zona de transição rica em portlandita (principalmente para cimentos ricos em hidróxido de cálcio). Esta porosidade excessiva da zona de transição permite o desenvolvimento acelerado de uma frente de carbonatação, capaz de atravessar completamente peças esbeltas em alguns dias de exposição. A alcalinidade da portlandita por sua vez ataca as fibras vegetais favorecendo sua decomposição, por este motivo algumas pesquisas são desenvolvidas com o uso de preservativos químicos para a madeira, como o CCA – Arseniato de Cobre Cromatado (TEIXEIRA et al 2001).

Convém ressaltar que o efeito da carbonatação, apesar de estar associado a um aumento de rigidez do material, (podendo inclusive fornecer leituras imprecisas ao estimar-se a resistência mecânica com um esclerômetro), é um fenômeno especialmente danoso a peças armadas, onde pode causar corrosão. Logo, a produção do compósito cimento–madeira com boa durabilidade, dependerá de tratamentos que promovam um melhor desempenho para todas as partes da mistura.

## 2.11 – Mineralização

O tratamento dos resíduos vegetais pela sua mineralização tem sido aplicado em vários estudos, como por exemplo: AGGARWAL (2000); BILBA (2001); CAMPOS (1999); CORETTI (1998); ELISABETH (2000); FONSECA (2002) e HOFSTRAND (1984), dentre outros, com o objetivo de imobilizar os extrativos da madeira diminuindo o retardamento de pega do cimento, ou mesmo conferir-lhes maior resistência mecânica.

A mineralização das fibras, apesar de ser um excelente processo de compatibilização da madeira com o cimento, apresenta o inconveniente de aumentar a fragilidade das mesmas. Ou seja, as fibras perdem sua maleabilidade.

Este método consiste da imersão dos resíduos vegetais em uma solução aquosa de sais (ou aditivos aceleradores de pega), que, ionizados, penetram nos vazios celulares e começam a cristalizar novamente. Este processo colmata os vazios celulares dificultando o acesso da água para o interior da fibra e diminuindo a taxa de liberação dos extrativos para a mistura.

O uso de formas de cimbramento para a fabricação do compósito é particularmente interessante, pois a madeira obtida desta forma encontra-se previamente mineralizada por ter sido exposta ao cimento. (figura 3).

## 2.12 – Cura acelerada

A injeção de gás carbônico durante a moldagem e cura do material, provocando uma carbonatação acelerada, também é utilizada para acelerar a cura do material, permitindo a desmoldagem em questão de horas e em certos casos, após alguns minutos.

Segundo WOLFE (1999), o uso de processos de aceleração de pega e de cura acelerada, de qualquer natureza, também diminuem os efeitos deletérios dos álcalis do cimento sobre a madeira, e, praticamente não apresentam efeitos indesejáveis. Ressalva quanto ao uso de aditivos aceleradores à base de cloreto de cálcio, que em dosagens elevadas podem provocar corrosão em peças armadas.

## 2.13 – Aditivos

Atualmente, a maioria absoluta dos materiais a base de cimento são fabricados com o uso de aditivos; MEHTA (1999) afirma que cerca de 80% de todo o concreto produzido por alguns países contém algum tipo de aditivo. Desta forma, existem aditivos capazes de modificar todas as principais características dos materiais derivados do cimento.

O uso de aditivos é bastante difundido na fabricação de compósitos cimento-madeira. Segundo LATORRACA (2000), para esta finalidade, aditivos à base de cloreto de cálcio são mais recomendados por apresentarem melhor desempenho.

As empresas que atualmente fabricam materiais à base de cimento e madeira geralmente usam o Cloreto de Cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ) como acelerador de pega, adotando relação



madeira/cimento em torno de 1:2 (em peso) e a relação  $\text{CaCl}_2$ /cimento em torno de 4%. A relação água/cimento é fixada de acordo com a espécie vegetal e parâmetros de caracterização física dos outros materiais, e da trabalhabilidade desejada de forma que haja água suficiente na mistura para manter-se o ponto de saturação das fibras e garantir a hidratação do cimento.

#### 2.14 – Definições e nomenclatura dos aditivos

Duas diferentes e complementares definições dos aditivos são apresentadas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e pela ASTM (American Society for Testing and Materials), são transcritas abaixo:

- ABNT – NBR 11768: “produtos que adicionados em pequena quantidade a concretos de cimento Portland modificam algumas de suas propriedades, no sentido de melhor adequá-las a determinadas condições.”

Esta conservadora definição coloca os aditivos no papel de coadjuvantes no processo de fabricação dos concretos; não cita as argamassas e emprega a dúbia expressão “pequena quantidade” ao se referir a dosagem; quando na verdade um termo mais correto seria quantidade *suficiente*.

Esta Norma classifica os aditivos para construção civil pelos seguintes tipos: Tipo P – Plastificante, Tipo R – Retardador, Tipo A – Acelerador, Tipo PR – Plastificante retardador, Tipo PA – Plastificante acelerador, Tipo IAR – Incorporador de ar, Tipo SP – Superplastificante, Tipo SPR – Superplastificante retardador, e Tipo SPA – Superplastificante acelerador

- ASTM C 125-92 *Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates*: O aditivo é um material, além da água, agregados, cimentos hidráulicos, e fibras empregado como um constituinte do concreto ou argamassa, e adicionado na betoneira imediatamente antes ou durante a mistura.

Neste caso, a nomenclatura dos tipos de aditivos obedece a uma codificação diferente: Tipo A – Redutor de água, Tipo B – Retardador, Tipo C – Acelerador, Tipo D – Redutor de água e retardador, Tipo E – Redutor de água e acelerador, Tipo F – Redutor de água de alta eficiência, e Tipo G – Redutor de água de alta eficiência e retardador.

## 2.15 – Funcionamento dos aditivos

Nesta seção serão apresentadas classificações em função dos princípios químicos de funcionamento para os aditivos comercialmente disponíveis.

### 2.15.1 – Tensoativos

Nesta classificação, podemos incluir os aditivos incorporadores de ar, plastificantes e superplastificantes, seu princípio de funcionamento parte das propriedades de moléculas orgânicas de cadeias extensas, capazes de apresentar uma extremidade hidrófoba, e uma hidrófila; e também de cadeias não-polares.

Comumente, são obtidos a partir da madeira, (extrativos), materiais protéicos, ácidos graxos, detergentes sintéticos, lignossulfonatos, polissacarídeos, ou ácidos carboxílicos hidroxilados.

### 2.15.2 – Tensoativos incorporadores de ar

Geralmente derivados de hidrocarbonetos não-polares com um grupo polar aniônico, este tipo de aditivo incorpora ar na mistura em dois efeitos. Segundo LEA (1980, *apud* MEHTA 1999) o primeiro ocorre na interface ar-água, onde os grupos polares são orientados para a fase aquosa, diminuindo a tensão superficial e formando bolhas; e o segundo, ocorre na interface sólido-água, onde os grupos polares ligam-se ao cimento, tornando os grãos hidrófobos, fazendo com que o ar permaneça ligado aos grãos na forma de bolhas.

Estes aditivos geralmente são empregados em locais onde se deseja conferir ao material resistência a ciclos de gelo e degelo, em menor vulto, observa-se um incremento na trabalhabilidade, particularmente para materiais com agregados leves.

### 2.15.3 – Tensoativos redutores de água

Neste caso, os grupos polares são combinados a cadeias polares, desta forma, ao associarem-se com o cimento, a solubilidade dos grãos do cimento é acelerada pois o acesso da água é “facilitado”.

Estes aditivos favorecem a dispersão dos grãos do cimento, naturalmente prejudicada pela elevada tensão superficial da água, derivadas das ligações do tipo ponte de hidrogênio presentes; e também pelas forças de atração do tipo dipolo-dipolo observadas entre os grãos do cimento que tendem a provocar floculações.

Este tipo de aditivo permite obter 3 efeitos diferentes nas misturas. O primeiro, é um aumento da trabalhabilidade da mistura, ou seja, para uma relação água-cimento constante, é possível obter um melhor desempenho reológico da mistura no estado fresco. Também é possível obter um aumento na resistência à compressão, este é o segundo efeito, fixando-se o valor do índice de consistência, é possível aplicar menores relações água-cimento, permitindo assim o incremento da resistência.

O terceiro e último efeito é a redução do consumo de cimento; para uma mesma resistência a compressão, é possível diminuir o consumo de cimento, já que com o uso deste tipo de aditivo, o dispêndio de cimento em função da resistência desejada torna-se menor.

#### 2.15.4 – Modificadores de pega

O processo de pega e o posterior endurecimento de pastas de cimento são baseados em reações de dissolução-precipitação, onde os componentes anidros do cimento são dissolvidos por ação da água de amassamento, e posteriormente, reações exotérmicas de cristalização tomam palco, para gradativamente conferir resistência mecânica ao material.

Neste cenário, qualquer substância solúvel pode afetar o equilíbrio destas reações influenciando diretamente a dissolução dos compostos anidros do cimento, e a cristalização dos produtos de hidratação.

Assim sendo, os aditivos aceleradores devem ser capazes de promover a rápida dissolução dos componentes do cimento, notadamente os de dissolução mais lenta. De forma análoga, os retardadores devem preferencialmente agir de forma a inibir a dissolução dos constituintes do cimento com maior velocidade de dissolução.

É sabido que dependendo da dosagem uma mesma substância pode funcionar como acelerador ou como retardador, por exemplo, cátions monovalentes, como  $K^+$  ou  $Na^+$  diminuem a solubilidade de íons cálcio, enquanto aumentam a solubilidade dos silicatos e aluminatos; para concentrações pequenas, o primeiro efeito é potencializado, e para grandes concentrações, o segundo.

Ânions  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  ou  $\text{SO}_4^{2-}$  em solução são capazes de reduzir a solubilidade de silicatos e aluminatos ao mesmo tempo em que potencializam a solubilidade dos íons cálcio. Novamente, para baixas concentrações, o primeiro efeito é preponderante, e para altas, o segundo.

Comumente, o recurso de aceleração de pega é usado quando é desejável a redução do tempo de cura, proteção ou desforma de artefatos à base de cimento, ou mesmo de seu acabamento. Já o retardamento de pega pode ser usado na eliminação de juntas frias de concretagem, no controle da retração hidráulica ou de fissurações, e no desenvolvimento programado de resistência particularmente importante para longas peças pós-tensionadas muito extensas.

## 2.16 – Outros tipos de aditivos

Além destes aditivos citados, existem outros tipos de natureza diversa principalmente no que se refere à obtenção. Estes materiais também modificam as características das misturas, modificando suas propriedades originais e são comumente chamados de *adições*.

Em compósitos a base de cimento portland (principalmente os reforçados com fibras), é comum o uso de pozolanas para melhorar o desempenho da zona de transição. As pozolanas são definidas como produtos silicosos ou sílico-aluminosos, predominantemente vítreos, que se solubilizam em meio alcalino, entram em reação com íons  $\text{Ca}^{+2}$ , produzindo silicatos de cálcio hidratado, este, um dos principais produtos de hidratação do cimento (JOHN 2003).

Desta forma, a concentração de hidróxido de cálcio (portlandita) na zona de transição fibra/cimento é reduzida, culminando em menor perda de ductibilidade em idades avançadas além de menor agressão química às fibras. Ou seja, este procedimento visa melhorar o desempenho, sem no entanto promover compatibilização entre os materiais. Dependendo do tipo de pozolana, pode haver um pequeno efeito de retardamento de pega no cimento, o que representa um efeito indesejável. Como as pozolanas geralmente não possuem cálcio em sua composição, estas não possuem capacidade aglomerante isoladamente.

Segundo AITCIN (2000) as pozolanas são materiais cimentícios complementares capazes de reagir com a cal formando silicato de cálcio hidratado (CSH) análogo ao formado durante a hidratação do cimento portland. Logo, a na presença de pozolanas, a cal formada do Silicato Tricálcio e do Silicato Dicálcio ( $\text{C}_3\text{S}$  e  $\text{C}_2\text{S}$ ) é consumida na formação de CSH. Entretanto, a cal consumida no processo é responsável pela manutenção do pH elevado do

cimento, e seu consumo resulta em um deslocamento do pH do sistema em direção à escala ácida, diminuindo a velocidade de hidratação.

As escórias de alto-forno e as cinzas volantes são pozolanas de reatividade lenta, e geralmente são empregadas em conjunto com sílica ativa, por possuírem reatividade mais rápida.

### **3 – CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Dada a natural incompatibilidade química entre a madeira e o cimento, existe a expectativa de efeitos indesejáveis sobre ambos. Esta incompatibilidade afeta fortemente o desempenho do material, e desta forma, é necessário haver a promoção artificial da compatibilidade.

A combinação de material fibroso em matriz aglomerante também produz uma tendência de modificação de comportamento mecânico do material. Obtém-se desta forma um material com tendência a um comportamento mais dúctil capaz de apresentar deformações maiores do que as da fase aglomerante antes da ruptura. Este efeito será predominantemente notado em compósitos onde as fibras apresentarem boa resistência à tração e também se a zona de transição entre estas e a matriz for capaz de transmitir-lhes parte do carregamento.

Entretanto, a madeira ao entrar em contato com a água de amassamento libera extrativos que influenciam negativamente a pega do cimento, na maioria dos casos diminuindo a densidade da zona de transição entre as fibras e a matriz de cimento, o que culmina em uma fraca ancoragem das fibras.

O retardamento de pega também tem como consequência a baixa resistência à compressão aos 28 dias como observado nos ensaios realizados.

A madeira adicionada a esta matriz sofre um ataque químico dos álcalis do cimento, favorecendo a sua decomposição. Além disso, a água de amassamento eleva o teor de umidade das fibras favorecendo a sua decomposição por microorganismos principalmente nos casos em que o material apresentar grande porosidade.

Dada a rápida perda de trabalhabilidade da mistura, é necessária extrema cautela para que as energias de amassamento e adensamento adicionais eventualmente aplicadas por meio mecânico não venham a macerar excessivamente as fibras, pois o efeito de ductibilidade no comportamento do material poderá ser menor que o esperado.

Este excesso de energia também pode provocar maior liberação de extrativos, potencializando os efeitos negativos sobre o cimento. A compatibilização dos materiais é aplicada então de forma a combater estes efeitos secundários, podendo ser feita de diferentes formas.

- Tratamento do cimento  
Consiste na aditivação do cimento, comumente com aditivos aceleradores de pega. Sua influência na solubilidade e no pH da mistura diminuem sensivelmente o retardamento de pega causado pela madeira.
- Tratamento da madeira  
Para evitar que os extrativos interfiram negativamente nas reações químicas características da hidratação do cimento, é possível tratá-la com impregnações de materiais como graxas, óleos ou resinas; ou ainda, é possível mineralizá-la obstruindo o lume de suas células com sais ou outros minerais. Também é possível o uso de tratamentos térmicos.
- Tratamento da mistura  
Consiste no que chamamos de aceleração de cura por meios externos. Neste procedimento, fatores externos à mistura são aplicados com o objetivo de criar um ambiente capaz de forçar o desenvolvimento da resistência nas primeiras idades (como a técnica de cura em câmaras de vapor) ou também capaz de acelerar a carbonatação.

O desempenho da zona de transição também colabora para a solidarização entre os materiais. Cimentos com alto teor de hidróxido de cálcio tendem a resultar em pouca ancoragem das fibras com a matriz prejudicando o desempenho do material. Já as pozolanas, podem contribuir para o aumento da densidade da zona de transição, conferindo melhor desempenho.

A técnica escolhida deve permitir o máximo de desempenho, com o menor grau de elaboração possível, permitindo e estimulando a sua fabricação em obra. Para este cenário, é importante permitir a dosagem dos materiais em volume; pois apesar das incorreções passíveis na medição de volumes, provocadas pela compactação não uniforme dos materiais granulares, a medição de massas para dosagem é um processo de difícil execução em canteiro de obra e exige equipamento especial.

A produção de forma mais elaborada pode ser justificada em função do uso, principalmente quando o material destinar-se a substituição de outro mais dispendioso. Desta forma obtém-se um material de maior valor agregado. A indústria de pré-moldados tem maior condição de absorver técnicas mais elaboradas, pois é mais prático controlar detalhamentos de um processo fabril em ambiente industrial.

Para a maioria das pesquisas desenvolvidas, o melhor desempenho obtido com baixo grau de elaboração, e com baixo custo, foi obtido com a aditivação da mistura com aceleradores de pega. A aditivação de misturas de cimento é um processo conhecido e independente de equipamento específico, exceto por instrumentos de medição de volume.

Muitas aplicações potenciais do compósito cimento-madeira requerem produção e moldagem no local de aplicação. Desta forma, um dos processos de compatibilização de execução mais simples foi o escolhido para ser desenvolvido na pesquisa.

O tratamento de compatibilização escolhido deve contemplar a tipologia de material produzido, para evitar a ocorrência de efeitos indesejáveis. A título de exemplo, o uso de cloreto de cálcio ou mesmo a injeção de gás carbônico são processos que devem ser aplicados com particular cautela no caso de objetos armados. Adições minerais quimicamente ativas inserem um fator de controle rigoroso adicional no processo de fabricação; e para o caso dos materiais de maior finura, torna-se necessária a aplicação de aditivos redutores de água para a manutenção da trabalhabilidade.



## 4 – MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 – Cimento

Neste trabalho foram utilizados dois tipos de cimento, CP-I e CP-II; tendo sido o cimento CP-I foi adquirido por encomenda, e apesar de não possuir disponibilidade no comércio regional, foi escolhido por ser de uso bastante comum na fabricação de pré-moldados. O cimento CP I possui suas condições exigíveis enumeradas na NBR 5732.

O cimento CP II possui adição de material pozolânico (classificação Z) e classe de resistência 32. A escolha se deu pela ampla disponibilidade no mercado e grande difusão de uso. Suas características são estipuladas na NBR 11578.

### 4.2 – Resíduo (Madeira)

Foram utilizados resíduos da espécie Angelim Pedra (*Hymenolobium Petraeum* Ducke) por se tratar de uma madeira de uso corriqueiro pela indústria moveleira e da construção em Belém-Pa. O Angelim Pedra é uma espécie considerada pesada por possuir massa específica acima de  $700\text{kg/m}^3$ , geralmente oscilando entre  $900$  a  $1000\text{Kg/m}^3$ ; de cor castanho; e enquadrado na classificação de durabilidade natural como durável. É dita de porte gigante por atingir cerca de  $50\text{m}$  de altura e até  $2$  metros de diâmetro de tronco. Sua gama de utilizações abrange desde itens de mobiliário, revestimento de pisos, até aplicações estruturais. Na figura 17 tem-se uma amostra do resíduo empregado.



**Figura 17 – Aspecto do resíduo utilizado**

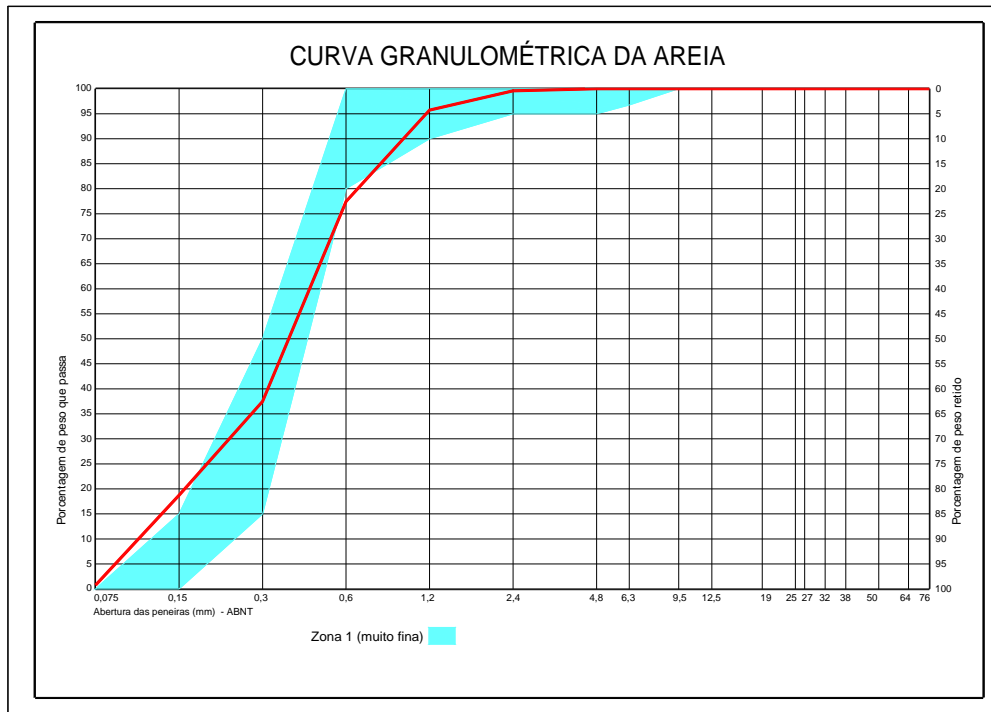
#### 4.3 – Areia

A areia utilizada é proveniente de jazidas da localidade de Santo Antônio do Tauá – Pa. Sua granulometria é apresentada na figura 18. O baixo valor encontrado para o módulo de finura, (tabela 1) indica que a argamassa produzida com esta areia irá demandar um valor elevado para a relação água–cimento devido à grande superfície específica dos grãos da areia.

A massa específica é uma característica diretamente influenciada pela porosidade dos grãos do material, assim sendo, seu valor pode indicar de forma qualitativa a resistência mecânica deste. Os ensaios de caracterização da areia foram executados de acordo com a NBR 7211

**Tabela 1 – Caracterização da Areia utilizada (NBR 7217)**

<b>Granulometria da areia</b>				<b>Módulo de finura</b>			
<b>Amostra</b>	<b>1kg</b>			<b>1,72</b>			
Peneira	<b>2,40</b>	<b>1,20</b>	<b>0,60</b>	<b>0,30</b>	<b>0,15</b>	<b>fundo</b>	<b>Total</b>
Peso (g)	4,50	38,00	183,00	399,50	187,50	180,00	992,50
%	0,45	3,83	18,44	40,25	18,89	18,14	99,25
% acum	<b>0,45</b>	<b>4,28</b>	<b>22,72</b>	<b>62,97</b>	<b>81,86</b>	<b>100,00</b>	
Passante	<b>99,55</b>	<b>95,72</b>	<b>77,28</b>	<b>37,03</b>	<b>18,14</b>	<b>0,00</b>	
Massa específica	<b>2,63Kg/dm<sup>3</sup></b>			Teor de Matéria Orgânica			<b>Aceitável</b>
Coeficiente de inchamento	<b>1,36</b>			Umidade crítica			<b>3,40%</b>



**Figura 18 – Curva granulométrica da areia**

O ensaio de teor de matéria orgânica é extremamente importante na caracterização de areias, pois a presença de matéria orgânica em uma mistura a base de cimento, como vimos, influi negativamente na hidratação do cimento. No caso particular deste trabalho, onde já está sendo produzido um compósito com matéria orgânica, o conhecimento do teor de matéria orgânica é extremamente necessário para que seja minimizado o efeito de variáveis que não as estudadas na pesquisa.

O coeficiente de inchamento expressa a alteração de volume da areia em função do teor de umidade; seu efeito é potencializado em areias finas como a utilizada. Para evitar a influência do inchamento, toda a areia utilizada no trabalho foi seca em estufa por no mínimo 24 horas, até constância de massa (figura 19).



**Figura 19 – Estufa para secagem de material**

#### 4.4 – Aditivo

Foi empregado nesta pesquisa o aditivo à base de cloreto de cálcio. Disponível na forma líquida, sua densidade é de 1,20Kg/l a 25°C. À semelhança do cimento CP II, foi escolhido pela disponibilidade no mercado.

#### 4.5 – Programa experimental – Ensaio preliminares e ensaios definitivos

Os estudos foram iniciados com um conjunto de ensaios preliminares com os traços 1:3,5; 1:5 e 1:6,5 em massa (cimento:areia), com cimento tipo CP II Z 32, sendo que cada um destes foi moldado com teores de 45%, 20%, 10% e 5% de madeira em substituição a igual massa de areia; e um traço-piloto contendo somente material mineral (0% de madeira) para comparação. Também foram produzidos traços com 5% de madeira e aditivo acelerador de pega à base de cloreto de cálcio, na forma líquida, aplicado na proporção de 1:9 na água de amassamento segundo as recomendações do fabricante.

Posteriormente, com base nos ensaios preliminares, os ensaios definitivos foram programados para permitir a comparação estatística entre diferentes traços, quais sejam: 1:1, 1:2, e 1:3, (em massa, cimento:areia) com 5%, 3,5% e 2% de adição de madeira (em massa, em substituição a igual massa de areia), todos moldados com e sem aditivo acelerador de pega, e também, em dois tipos de cimento: CP I e CII Z.

#### 4.6 – Ensaios preliminares

Para cada traço e teor de madeira foram moldados 9 corpos-de-prova totalizando 162 corpos-de-prova cilíndricos, de 5x10cm, submetidos à cura úmida e ensaiados à compressão axial aos 28 dias com capeamento de enxofre.

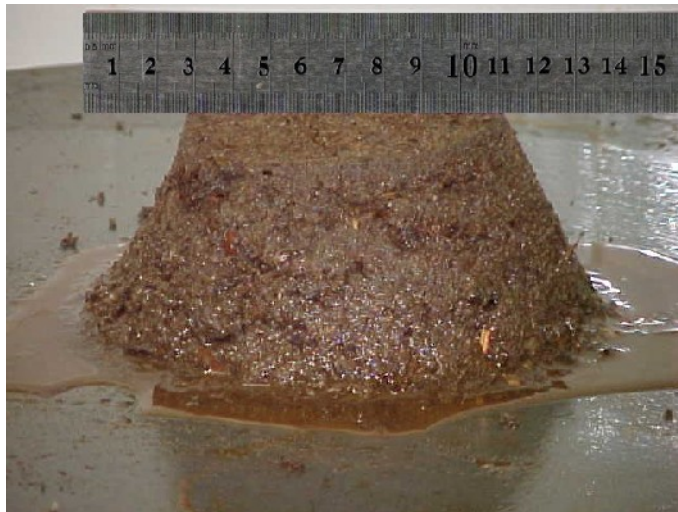
Nestes ensaios foi possível comprovar o forte retardamento de pega do cimento ocasionado pela adição de madeira além de grande redução na resistência mecânica nas misturas não-aditivadas.

O índice de consistência foi fixado em  $190 \pm 20$ mm por se considerar um valor coerente para a produção de pré-moldados. Foi possível observar correlação linear com grande representatividade estatística entre a relação água-cimento e o teor de madeira em massa para as misturas. O resumo destes ensaios é demonstrado na tabela 2.

**Tabela 2 – Estrutura dos ensaios preliminares**

Traço (cimento:areia)	Porcentagem de madeira em massa	Traço (cimento:areia)	Porcentagem de madeira em massa	Traço (cimento:areia)	Porcentagem de madeira em massa
1:3,5	45%	1:5	45%	1:6,5	45%
	20%		20%		20%
	10%		10%		10%
	5%		5%		5%
	5% + aditivo		5% + aditivo		5% + aditivo
	0%		0%		0%

A trabalhabilidade ficou bastante prejudicada nas misturas mais pobres (1:6,5) e com elevado teor de madeira em massa (45%). Pode-se verificar o pequeno espalhamento apresentado pela mistura, mesmo com elevada relação água-cimento; além da exudação, provocada pelo excesso de água e falta de finos (figura 20). A moldagem dos corpos-de-prova para estes traços é extremamente dificultada pela trabalhabilidade que além de ser originalmente baixa, diminui rapidamente.



**Figura 20 – Determinação do índice de consistência para o traço 1:6,5.**

Aparentemente, a madeira absorve parte da água de amassamento, diminuindo a trabalhabilidade, pois ao retornar-se a mistura para a argamasseira, mistura recupera parte da fluidez original.



**Figura 21 – Fissuras durante a desmoldagem.**

Todos os corpos-de-prova com traço 1:6,5 apresentaram problemas durante a desforma (figura 21), impedindo a realização de ensaios; além de desenvolverem fungos. (Figura 22)



**Figura 22 – Corpos-de-prova com fungos na superfície.**

Para o traço 1:5, foi possível obter um melhor acabamento superficial nos corpos-de-prova (do ensaio de índice de consistência), menor exsudação e um maior valor de índice de consistência. Para estas misturas, a trabalhabilidade perdurou por mais tempo, permitindo que a moldagem dos corpos-de-prova fosse feita de forma mais simples. Figura 23



**Figura 23 – Determinação do índice de consistência para o traço 1:5.**

As misturas com traço 1:3,5 (figura 24) praticamente não apresentaram exsudação, além de acabamento perfeito nos corpos-de-prova, e mantiveram a trabalhabilidade por tempo suficiente para moldagem.





Figura 24 – Determinação do índice de consistência para o traço 1:3,5.

Para a gama de misturas testadas, os traços mais ricos em cimento (1:3,5 com até 10% de madeira) mantiveram a trabalhabilidade por mais tempo.

#### 4.2 – Resultados preliminares

Para os 3 traços moldados, a relação água/cimento foi fortemente dependente do teor de madeira adicionado, efeito provavelmente ocasionado pela absorção da água de amassamento pelas fibras da madeira, já que estas foram primeiramente secas em estufa antes do uso. Ver tabela 3 e figura 25. Na tabela 4, os valores para resistência à compressão.

Tabela 3 – Adição de madeira e relação água/cimento

Traço	Madeira (%)	Relação a/c
1:3,5	45,00%	4,05
	20,00%	1,87
	10,00%	1,32
	5,00%	0,86
	<b>5,00%</b>	<b>0,93</b>
1:5	45,00%	5,67
	20,00%	3,40
	10,00%	1,80
	5,00%	1,27
	<b>5,00%</b>	<b>1,23</b>
1:6,5	45,00%	14,80
	20,00%	6,38
	10,00%	2,31
	5,00%	1,01
	<b>5,00%</b>	<b>1,73</b>



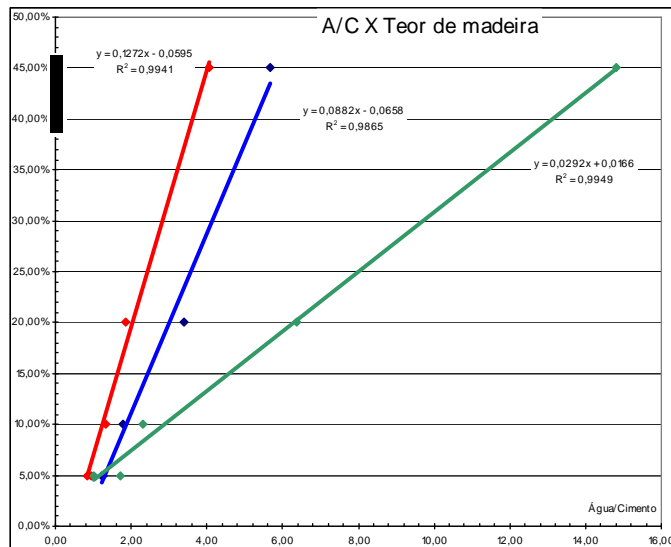


Figura 25 – Relação água/cimento versus teor de madeira

Tabela 4 – Ensaios preliminares – cargas de ruptura em Kgf e tensões em Mpa

Traço	1:5					1:3,5				
	Teor de madeira 45%	20%	10%	5%	5% + aditivo	45%	20%	10%	5%	5% + aditivo
Carga de ruptura em Kgf	80,0	40,0	44,6	31,2	538,0	110,0	53,6	49,2	45,0	887,0
Tensão em Mpa	4,1	2,0	2,3	1,6	27,4	5,6	2,7	2,5	2,3	45,2

#### 4.3 – Ensaios definitivos – Programa experimental

A partir dos resultados obtidos nos ensaios preliminares e informações obtidas na revisão bibliográfica, a pesquisa foi estruturada da forma mostrada nas tabelas 5 e 6.

Tabela 5 – Planejamento da pesquisa – cimento CP-I

Cimento CPI	Traço (cimento:areia)		
	1:1	1:2	1:3
	Porcentagem de madeira em massa		
	5%	5%	5%
	3,5%	3,5%	3,5%
	2%	2%	2%
	5% + aditivo	5% + aditivo	5% + aditivo
	3,5% + aditivo	3,5% + aditivo	3,5% + aditivo
	2% + aditivo	2% + aditivo	2% + aditivo

**Tabela 6 – Planejamento da pesquisa – cimento CP-II**

Cimento CPII	Traço (cimento:areia)		
	1:1	1:2	1:3
	Porcentagem de madeira em massa		
	5%	5%	5%
	3,5%	3,5%	3,5%
	2%	2%	2%
	5% + aditivo	5% + aditivo	5% + aditivo
	3,5% + aditivo	3,5% + aditivo	3,5% + aditivo
	2% + aditivo	2% + aditivo	2% + aditivo

Onde o percentual indicado de madeira, assim como nos ensaios preliminares é adicionado em substituição de igual massa de areia nas misturas, homogêneas em uma argamaseira elétrica industrial com capacidade para 3kg de material (figura 26).

**Figura 26 – Argamaseira elétrica**

Para cada um dos 36 traços moldados, foram moldados 9 corpos-de-prova, totalizando 324 corpos-de-prova cilíndricos de 5x10cm, submetidos a cura úmida, e ensaiados à compressão axial aos 28 dias com capeamento de enxofre.

A relação água-cimento foi fixada pelo ensaio de índice de consistência, ou seja: durante a confecção dos corpos-de-prova, foi adicionada água à mistura até que a trabalhabilidade estipulada de  $190 \pm 20$ mm fosse atingida.

Os Corpos de prova foram moldados em três camadas compactadas com 25 golpes de soquete metálico. (Figuras 27 e 28)



**Figura 27 – Ensaio de índice de consistência**



**Figura 28 – Exudação excessiva por falta de finos**

Foi utilizado o processo de cura úmida, por imersão dos corpos de prova em solução de água e cal. O rompimento dos corpos de prova foi feito aos 28 dias de idade, com capeamento de enxofre, em equipamento AMSLER. (figura 29).



**Figura 29 – Ensaio de resistência à compressão (simulação)**

## 5 – RESULTADOS

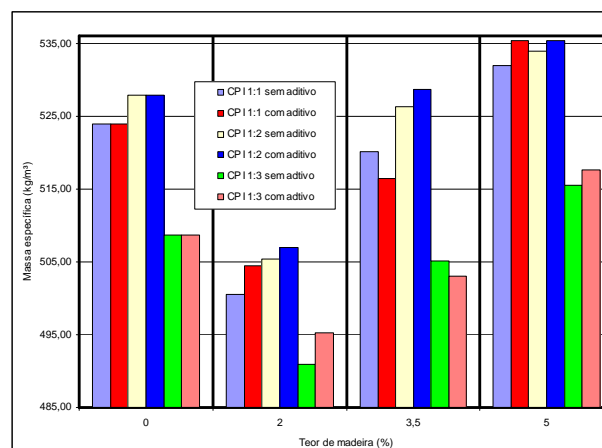
### 5.1 – Massa específica

Nesta pesquisa, foi possível notar que para um teor de até 3,5% de adição em massa de madeira, o material apresenta massa específica menor ou igual à argamassa comum, sendo que para 5% de adição, foram registrados valores superiores.

As tabelas 7 e 8 e as figuras 30 e 31 mostram os valores da massa específica para os diversos traços pesquisados.

**Tabela 7 – Massa específica em kg por m<sup>3</sup> para o cimento CP I**

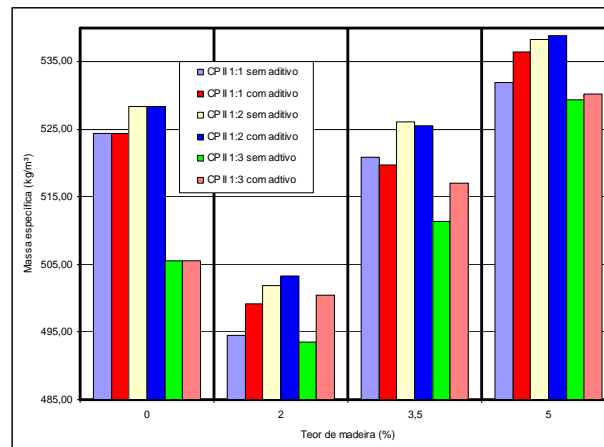
CPI			CPI + aditivo		
Traço	Madeira (%)	massa esp kg/m <sup>3</sup>	Traço	Madeira (%)	massa esp kg/m <sup>3</sup>
1:1	0	523,85	1:1	0	523,85
	2	500,56		2	504,44
	3,5	520,12		3,5	516,36
	5	531,89		5	535,39
1:2	0	527,89	1:2	0	527,89
	2	505,36		2	506,91
	3,5	526,33		3,5	528,63
	5	533,89		5	535,31
1:3	0	508,66	1:3	0	508,66
	2	490,98		2	495,28
	3,5	505,14		3,5	503,01
	5	515,55		5	517,58



**Figura 30 – Massa específica em kg por m<sup>3</sup> para o cimento CP I**

**Tabela 8 – Massa específica em kg por m<sup>3</sup> para o cimento CP II**

CPII			CPII + aditivo		
Traço	Madeira (%)	massa esp kg/m <sup>3</sup>	Traço	Madeira (%)	massa esp kg/m <sup>3</sup>
1:1	0	524,48	1:1	0	524,48
	2	494,55		2	499,24
	3,5	520,87		3,5	519,80
	5	531,98		5	536,49
1:2	0	528,43	1:2	0	528,43
	2	501,81		2	503,33
	3,5	526,13		3,5	525,50
	5	538,28		5	538,87
1:3	0	505,50	1:3	0	505,50
	2	493,56		2	500,41
	3,5	511,37		3,5	517,00
	5	529,34		5	530,28

**Figura 31 – Massa específica em kg por m<sup>3</sup> para o cimento CP II**

## 5.2 – Resistência à compressão

Os ensaios de resistência à compressão aos 28 dias de idade mostraram que o compósito mesmo quando não adicionado do cloreto de cálcio obteve resistência comparável à das misturas aditivadas; entretanto, seu uso não é tecnologicamente viável em virtude do grande tempo necessário para o desmolde, além da variabilidade de resultados mais elevada, o que indica um material com menor homogeneidade.

A tabela 9 mostra alguns resultados obtidos para o ensaio de compressão axial aos 28 dias.

**Tabela 9 – Tensões de ruptura à compressão axial aos 28 dias para o traço 1:1 com adição de madeira de 5% em massa**

Tensões de ruptura (MPa)									
1:M	Adição de madeira	CP I				CP II			
		Sem aditivo		com aditivo		sem aditivo		com aditivo	
1:1	5%	<i>1.1</i>	<b>42,98</b>	<i>2.1</i>	<b>52,97</b>	<i>19.1</i>	<b>37,28</b>	<i>20.1</i>	<b>49,91</b>
		<i>1.2</i>	<b>42,78</b>	<i>2.2</i>	<b>51,44</b>	<i>19.2</i>	<b>37,13</b>	<i>20.2</i>	<b>49,78</b>
		<i>1.3</i>	<b>42,73</b>	<i>2.3</i>	<b>50,96</b>	<i>19.3</i>	<b>36,92</b>	<i>20.3</i>	<b>49,61</b>
		<i>1.4</i>	<b>42,53</b>	<i>2.4</i>	<b>50,85</b>	<i>19.4</i>	<b>35,96</b>	<i>20.4</i>	<b>49,40</b>
		<i>1.5</i>	<b>40,64</b>	<i>2.5</i>	<b>50,67</b>	<i>19.5</i>	<b>34,99</b>	<i>20.5</i>	<b>49,20</b>
		<i>1.6</i>	<b>39,62</b>	<i>2.6</i>	<b>50,42</b>	<i>19.6</i>	<b>33,26</b>	<i>20.6</i>	<b>49,15</b>
		<i>1.7</i>	<b>39,09</b>	<i>2.7</i>	<b>49,96</b>	<i>19.7</i>	<b>31,65</b>	<i>20.7</i>	<b>43,04</b>
		<i>1.8</i>	<b>38,15</b>	<i>2.8</i>	<b>41,74</b>	<i>19.8</i>	<b>31,07</b>	<i>20.8</i>	<b>41,46</b>
		<i>1.9</i>	<b>36,34</b>	<i>2.9</i>	<b>39,88</b>	<i>19.9</i>	<b>29,95</b>	<i>20.9</i>	<b>40,57</b>

Obs: os índices em itálico representam a identificação dos corpos-de-prova

As tabelas 15, 16 e 17 em anexo mostram os valores completos para as tensões de ruptura.

Em comparação com estudos preliminares, onde foi produzida argamassa de referência contendo somente componentes minerais, foi possível notar que o compósito cimento-madeira atingiu valores muito próximos daquela, indicando seu potencial uso como material alternativo no que se refere à resistência mecânica.

O uso de Cimento tipo CP I, mostrou-se mais eficiente por permitir alcançar maiores resistências à compressão. Ou ainda, para uma dada resistência, permite diminuir o consumo de cimento.

Ao confrontar-se os valores obtidos para os corpos de prova (CP's) mostrados nas tabelas 5, 6 e 7, é possível verificar esta tendência:

CP	Resistência (MPa)	Teor de madeira
• 1.1	42,98	5%
• 21.1	41,71	2%

Os dois corpos-de-prova comparados obtiveram resistência equivalente; ambos tendo sido moldados sem aditivo. Além do tipo de cimento usado, o que os difere é o teor de madeira usado, duas vezes e meia maior para o CP 1.1.

Outras comparações similares podem ser feitas entre os CP's:

CP	Resistência (MPa)	Teor de madeira
• 2.1	52,97	5%
• 22.1	50,42	2%

CP	Resistência (MPa)	Teor de madeira
• 6.1	49,40	5%
• 26.1	45,63	2%

CP	Resistência (MPa)	Teor de madeira
• 9.1	37,54	5%
• 29.1	44,87	2%

CP	Resistência (MPa)	Teor de madeira
• 10.1	46,45	5%
• 30.1	44,87	2%

Em todas as análises estatísticas efetuadas, (salvo algumas exceções) sejam elas: o uso de aditivo, o tipo de cimento, o traço, e o teor de madeira, foram verificados a influência dos respectivos fatores na resistência à compressão; indicando-os como prováveis elementos de um futuro método de dosagem para o material.

### 5.3 – Acabamento Superficial

Foi possível observar que nos traços produzidos com o uso do aditivo, o material apresentou-se com porosidade na superfície, indicando a incorporação de ar. Figuras 32 e 33. Nestas misturas, foi possível observar que o processo de desmoldagem pôde ser feito sem problemas, não havendo aderência excessiva dos corpos-de-prova com os moldes.

Para as misturas com 5% de madeira, foi possível visualizar fibras da madeira aparentes na superfície dos corpos-de-prova, assim como coloração ligeiramente mais escura do que as argamassas tradicionais.





**Figura 32 – Superfície de corpo-de-prova**



**Figura 33 – Superfície de corpo-de-prova**

#### 5.4 – Desmoldagem

Os corpos de prova de traço 1:3 moldados sem aditivo acelerador apresentaram problemas no momento da desmoldagem, levando à perda de várias amostras, como mostrado na figura 34. Algumas amostras de comparação foram desmoldadas com 14 e 28 dias de idade, mas mesmo assim, houve fissuras. Nos demais traços mais ricos, não houve este tipo de problema.

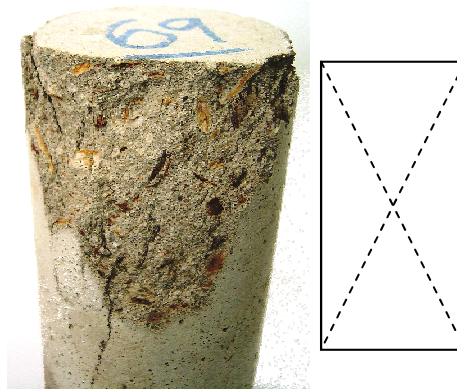




**Figura 34 – Fissuras durante a desmoldagem**

### 5.5 – Tipos de ruptura

Após o ensaio de rompimento por compressão axial, foi observado que os corpos de prova não aditivados com 5% de madeira e os aditivados com 3,5 e 5% apresentaram praticamente o mesmo comportamento na ruptura; de forma cônica, segundo a classificação da NBR 5739. Um exemplo é mostrado na figura 35.



**Figura 35 – Fissuração típica dos traços mais ricos em cimento**

Os demais traços (mais pobres) apresentaram fissuras colunares, segundo a classificação da NBR 5739 (figura 36).



**Figura 36 – Fissuração típica dos traços mais pobres em cimento**

### 5.6 – Análise de dispersão

O estudo da dispersão foi feito em planilhas eletrônicas onde os valores acima de 8% são automaticamente destacados em vermelho. Esta análise mostrou que os traços com 5% de madeira têm comportamento menos uniforme por apresentarem valores de dispersão comparativamente mais altos. Na tabela 10, os valores em negrito mostram os valores da dispersão para cada traço moldado.

**Tabela 10 – Análise de dispersão em % para os traços moldados**

Resíduo	Cimento	Aditivo	Traço		
			1:1	1:2	1:3
5%	CP I	Não	<b>18,2901</b>	<b>45,9759</b>	<b>61,6228</b>
		Sim	<b>32,8225</b>	<b>11,1111</b>	<b>3,5187</b>
	CP II	Não	<b>24,4898</b>	<b>17,3093</b>	<b>62,2685</b>
		Sim	<b>23,0383</b>	<b>7,3260</b>	<b>1,8507</b>
3,5%	CP I	Não	<b>13,0491</b>	<b>5,9418</b>	<b>27,4478</b>
		Sim	<b>8,4168</b>	<b>1,4388</b>	<b>4,7357</b>
	CP II	Não	<b>9,0287</b>	<b>3,0692</b>	<b>5,9880</b>
		Sim	<b>4,4395</b>	<b>2,6744</b>	<b>6,2154</b>
2%	CP I	Não	<b>3,2402</b>	<b>6,5584</b>	<b>4,9223</b>
		Sim	<b>2,0536</b>	<b>3,2032</b>	<b>3,4377</b>
	CP II	Não	<b>1,9925</b>	<b>5,7143</b>	<b>36,9231</b>
		Sim	<b>1,6427</b>	<b>3,0477</b>	<b>2,8005</b>

Nas figuras 37 a 57 vemos a representação gráfica da dispersão dos valores de resistência obtidos. Dados de cálculo completos nas tabelas de 78 a 86.

### 5.7 – Análise de variância

Foram feitos testes de análise de variância (ANOVA) para os diversos agrupamentos de dados obtidos, no intuito de verificar estatisticamente quais variáveis efetivamente

contribuem para a resistência à compressão do material. A análise resumida é mostrada nas tabelas 11, 12, 13 e 14.

**Tabela 11 – Análise de variância para o uso de aditivo**

Variável	Traço	Resíduo	Cimento	F	F crítico	Análise
Uso de aditivo	1:1	5%	CP I	22,526	4,494	R
			CP II	60,559	4,494	R
		3,5%	CP I	148,151	4,494	R
			CP II	341,496	4,494	R
		2%	CP II	3167,457	4,494	R
			CP I	4016,780	4,494	R
	1:2	5%	CP I	49,164	4,494	R
			CP II	207,512	4,494	R
		3,5%	CP I	951,148	4,494	R
			CP II	1825,718	4,494	R
		2%	CP II	564,189	4,494	R
			CP I	714,514	4,494	R
	1:3	5%	CP I	39,928	4,494	R
			CP II	31,661	4,494	R
		3,5%	CP I	87,303	4,494	R
			CP II	501,029	4,494	R
		2%	CP II	1435,160	4,494	R
			CP I	108,034	4,494	R

R - Representativo NR - Não representativo

Na tabela 11, vemos que o uso de aditivo se mostrou representativo em todas as misturas analisadas; o que destaca e ratifica a importância de seu uso.

**Tabela 12 – Análise de variância para o tipo de cimento**

Variável	Traço	Aditivo	Resíduo	F	F crítico	Análise
Cimento	1:1	Não	5%	25,816	4,494	R
			3,50%	37,973	4,494	R
			2%	715,600	4,494	R
		Sim	5%	<b>0,845</b>	<b>4,494</b>	NR
			3,50%	98,633	4,494	R
			2%	2487,342	4,494	R
	1:2	Não	5%	<b>3,473</b>	<b>4,494</b>	NR
			3,50%	292,748	4,494	R
			2%	190,920	4,494	R
		Sim	5%	54,122	4,494	R
			3,50%	1162,111	4,494	R
			2%	656,814	4,494	R
	1:3	Não	5%	<b>0,173</b>	<b>4,494</b>	NR
			3,50%	16,726	4,494	R
			2%	40,277	4,494	R
		Sim	5%	188,590	4,494	R
			3,50%	138,130	4,494	R
			2%	696,181	4,494	R

R - Representativo NR - Não representativo

A análise comparativa entre os dois tipos de cimento usados mostrou que para alguns traços com teor de 5% de madeira, não houve alteração apreciável na resistência mecânica; conforme é possível verificar na tabela 12. Ou seja, nestas misturas, o efeito da adição de resíduos de madeira resultou em efeito preponderante na resistência.

**Tabela 13 – Análise de variância para o traço**

Variável	Cimento	Aditivo	Resíduo	F	F crítico	Análise
Traço	CP I	Não	5%	5,393	3,403	R
			3,5%	12,623	3,403	R
			2%	150,418	3,403	R
		Sim	5%	<b>2,851</b>	<b>3,403</b>	NR
			3,5%	60,867	3,403	R
			2%	514,862	3,403	R
	CP II	Não	5%	<b>0,580</b>	<b>3,403</b>	NR
			3,5%	63,253	3,403	R
			2%	37,605	3,403	R
		Sim	5%	6,629	3,403	R
			3,5%	81,081	3,403	R
			2%	475,960	3,403	R

R - Representativo

NR - Não representativo

A variação do traço mostrou-se representativa na maioria das análises, exceto nos dois casos acima, onde as misturas contendo 5% de madeira não demonstraram variação apreciável.

**Tabela 14 – Análise de variância para o teor de resíduo**

Variável	Traço	Cimento	Aditivo	F	F crítico	Análise
Teor de resíduo	1:1	CP I	Não	24,740	3,403	R
			Sim	22,504	3,403	R
		CP II	Não	36,894	3,403	R
			Sim	4,913	3,403	R
	1:2	CP I	Não	9,478	3,403	R
			Sim	31,642	3,403	R
		CP II	Não	11,140	3,403	R
			Sim	5,188	3,403	R
	1:3	CP I	Não	8,237	3,403	R
			Sim	123,708	3,403	R
		CP II	Não	<b>0,954</b>	<b>3,403</b>	NR
			Sim	18,917	3,403	R

R - Representativo

NR - Não representativo

Na tabela 14, vemos que o traço 1:3, moldado sem aditivo e com cimento CP II, foi o único a não apresentar representatividade estatística para a variação no teor de resíduo

estudada. Esta mistura em particular é a de características mais adversas dentre todas as estudadas.

## 5.8 – Comentários

A análise de dispersão mostrou um comportamento relativamente uniforme do material, sobretudo nas misturas com 2 e 3,5% de adição de madeira; para o teor de 5% de resíduos, a dispersão foi notadamente maior, sobretudo nas misturas com maior consumo de cimento; dado o elevado volume de resíduos na mistura.

Ao contrário do observado nos ensaios preliminares, onde maiores teores de madeira foram usados, não houve a ocorrência de fungos mesmo nos traços mais pobres, e com elevado teor de madeira.

Não foi possível encontrar correlação matemática uniforme e com representatividade satisfatória entre a trabalhabilidade e a relação água cimento para os traços pesquisados. Pela análise de variância, é possível verificar que alguns fatores não produziram efeitos apreciáveis, como mostrado nos 6 casos abaixo:

1. Para o traço 1:1, com 5% de madeira, com aditivo; o tipo de cimento (I ou II)
2. Para o traço 1:2, com 5% de madeira, sem aditivo; o tipo de cimento (I ou II)
3. Para o traço 1:3 com 5% de madeira, sem aditivo; o tipo de cimento (I ou II)
4. Para as misturas de CP I, com aditivo, com 5% de madeira; o traço (1:1, 1:2 e 1:3)
5. Para as misturas de CP II, sem aditivo, com 5% de madeira; o traço (1:1, 1:2 e 1:3)
6. Para o traço 1:3, sem aditivo, e cimento CP II; o teor de madeira (2, 3,5 e 5%)

Há indícios de que nos casos de 1 a 5 os efeitos do grande teor de resíduo empregado sobre a resistência mecânica foram preponderantes sobre as outras variáveis. De forma similar, do caso 6, em se tratando da mistura com o traço mais pobre, sem aditivo e com o cimento tipo CPII (que contém mais adições inertes), esta já possui fatores negativos suficientes para que o teor de madeira adicionado apresentasse influência estatisticamente visível.

## 6 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados encontrados permitem sugerir o compósito como potencial material de engenharia, a princípio por apresentar resistência mecânica em mesma ordem de grandeza de materiais tradicionais e também por apresentar relativa uniformidade nos resultados.

### 6.1 – Adição de madeira

A adição de madeira em uma matriz de cimento mostrou-se um procedimento viável mesmo levando em consideração a incompatibilidade original entre os materiais; principalmente para misturas aditivadas.

O desempenho das misturas não aditivadas foi ligeiramente inferior ao das aditivadas, porém seu uso é inviável para exploração comercial devido ao grande tempo para desmoldagem. A variabilidade observada também dificulta homogeneidade de fabricação e pode ocasionar problemas patológicos

### 6.2 – Variabilidade de resultados

A adição de madeira culminou em maior variabilidade dos resultados obtidos, em comparação à argamassa 100% mineral, sendo ainda maior à medida que o teor de madeira aumentou pois quanto maior a quantidade de resíduos, maior a liberação de extrativos na mistura.

O uso de aditivo contribuiu para uma menor variabilidade dos resultados, que neste caso foi equiparável aos valores comumente encontrados para argamassas comuns.

### 6.3 – Recuo do índice de consistência

Todas as misturas com resíduo vegetal apresentaram diminuição do índice de consistência notadamente mais rápida do que as argamassas comuns, entretanto, ao retornar-

se a mistura à argamasseira, a trabalhabilidade original é restabelecida. Este efeito foi menos perceptível nas misturas aditivadas.

Há indícios de que as fibras vegetais absorvam a água de amassamento, causando este efeito. O uso de equipamento mecânico para o adensamento tornar-se-á necessário para moldagem de peças esbeltas.

#### 6.4 – Massa específica

A porção de madeira adicionada representa em volume uma fração de aproximadamente um terço do volume total da mistura, deste modo, a massa específica do compósito é sempre inferior à da argamassa comum; e é fortemente dependente da técnica de adensamento.

#### 6.5 – Aditivo acelerador

O uso de aditivo mostrou-se indispensável na produção do compósito, principalmente por influir positivamente na maioria das características do material. Convém ressaltar que o com seu uso o desmolde dos corpos-de-prova foi feito em intervalo de tempo comparável ao da argamassa comum e também permitiu atingir maior resistência mecânica.

As misturas aditivadas também apresentaram melhor aspecto quanto ao acabamento superficial, sendo os corpos-de-prova correspondentes visualmente idênticos aos de argamassas comuns 100% minerais.

Nas misturas não aditivadas, notadamente nos traços 1:2 e 1:3 com 5% de madeira, é possível observar que as fibras posicionadas próximo à superfície não foram completamente envolvidas pela pasta de cimento, não permitindo assim um bom acabamento da superfície.

#### 6.6 – Custo

A estimativa de custo por quilograma de material mostrou que o tipo de cimento usado na moldagem não resultou em variação apreciável. No entanto, há pequena vantagem no uso do cimento tipo CPI, pois com ele, foi possível obter resistências maiores aos 28 dias; logo, para uma dada resistência é possível diminuir o consumo de cimento.

### 6.7 – Aplicações potenciais

Com base nas características obtidas, é fatível sugerir o uso da material como revestimento para alvenarias, na fabricação de tijolos e outros pré-moldados, pavimentação e nivelamentos.



## 7 – CONCLUSÕES

Após o estudo dos dados obtidos, e das análises estatísticas efetuadas, verificou-se que quando do uso de aditivo acelerador de pega, a resistência mecânica obtida foi muito próxima à da argamassa comum produzida nos ensaios preliminares. O uso de aditivo mostrou-se eficaz também para o aumento da resistência mecânica e redução do consumo de cimento; além de permitir maior produtividade ao desmoldarem-se as formas com maior rapidez. A análise estatística completa para o uso de aditivo pode ser vista nas tabelas 8 a 25 em anexo.

As misturas aditivadas permitiram desmoldagem mais rápida do que as argamassas comuns. Para os traços mais ricos em cimento, o tempo de desmoldagem que para o traço 1:3 chegou a ser de 3 dias, foi diminuído para cerca de 8 horas.

Foi possível observar sensível diminuição na dispersão de valores obtidos para a resistência à compressão para a maioria dos traços moldados, indicando importante aumento na homogeneidade do material. Também foi possível notar discreto aumento na relação água-cimento para a trabalhabilidade fixada.

O tipo de cimento utilizado mostrou-se estatisticamente influente em quase todas as análises exceto nos casos mostrados nas tabelas 39, 42 e 48 em anexo. Nos três casos citados, as misturas contêm 5% de madeira, o que caracteriza uma das condições mais desfavoráveis da série de ensaios efetuada devido ao grande volume de resíduos utilizado. Análises completas nas tabelas de 36 a 53 em anexo.

Quanto ao consumo de cimento, o uso de aditivo permitiu a obtenção de resistências mecânicas mais elevadas, logo, para uma mesma resistência dada, é possível reduzir-se este consumo. O uso de cimento tipo CPI também torna possível o mesmo efeito, em comparação com o cimento CPII. Para as comparações mostradas nas tabelas 57 e 60, a variação do consumo de cimento entre os traços pesquisados não resultou em variação apreciável na resistência mecânica. Em ambos os casos, as misturas possuem 5% de adição de resíduos. A análise estatística dos traços pode ser vista nas tabelas de 54 a 65 nos anexos.

Como esperado, a adição da madeira na forma de serragem diminuiu a resistência à compressão do material, conforme vemos na análise estatística, nas tabelas de 76 a 77 em anexo. Entretanto, para a situação mostrada na tabela 76, vemos que a variação da adição de madeira (2%, 3,5% e 5%) não resultou em diferenciação apreciável (por análise de variância)

na resistência, para o traço 1:3, sem aditivo, e cimento do tipo CP II; novamente, por se tratar da combinação mais desfavorável.

De modo geral, apesar da redução na resistência mecânica, o material ainda possui aplicabilidade como material de engenharia.

A análise de dispersão mostrou que a maioria das misturas apresentou dispersão abaixo de 8%, representando um importante indicador de uniformidade necessária aos materiais de uso na engenharia. Os traços de composição mais desfavorável, em geral com cimento CII, 5% de madeira e/ou menor consumo de cimento apresentaram maiores valores de dispersão provavelmente pela maior dificuldade de moldagem. Análise completa nas tabelas de 78 a 86 nos anexos.

A relação água/cimento não apresentou correlação matemática definida com o índice de consistência nos ensaios realizados. Neste cenário, torna-se nítida a dificuldade em se manter a trabalhabilidade de misturas contendo materiais fibrosos; e em particular quando estes materiais são capazes de absorver a água de amassamento. Ver tabelas 87 e 88 e figuras de 55 a 66 nos anexos.

Comparando-se traços iguais, foi possível observar que ao usar-se o aditivo acelerador de pega, o custo do material aumentou cerca de 50%, porém apresentaram melhor desempenho.

Foi possível verificar também que para as misturas com cimento CPI, traços 1:1 sem aditivo, o custo de fabricação foi similar das com CPI, traço 1:2, com aditivo, com um pequeno decréscimo de resistência mecânica. A mesma comparação pode-se fazer entre as misturas com CII, traço 1:1, sem aditivo e as com CII, traço 1:2 com aditivo. Neste caso, porém com pequeno ganho de resistência.

Outras comparações, desta vez entre misturas produzidas com cimentos CPI e CII mostram que o uso daquele é mais vantajoso, pois permite obter resistências maiores com custos iguais ou até mesmo menores. Por exemplo:

- a) CPI, 1:2, sem aditivo; e CII, 1:2, sem aditivo;
- b) CPI, 1:3, sem aditivo; e CII, 1:3, sem aditivo;
- c) CPI, 1:1, com aditivo; e CII, 1:1 com aditivo;
- d) CPI, 1:3, com aditivo; e CII, 1:3 com aditivo.

A tabela 89 nos anexos apresenta o cálculo do custo unitário para todas as misturas estudadas.

## 7.1 – Considerações finais

Produzir o compósito cimento-madeira pelo método proposto neste trabalho, mostrou-se uma técnica de potencial aplicação como material de engenharia por apresentar desempenho compatível com materiais atualmente disponíveis e principalmente por agregar valor a um resíduo industrial de difícil manuseio e reaproveitamento.

O aditivo acelerador de pega mostrou-se um recurso de tecnológico viável, pois não aumentou demasiadamente os custos de produção do material. Seu uso é, portanto recomendado por melhorar sobremaneira as características do material.

O cimento tipo CPI também é um importante recurso na fabricação do material. Seu uso não influenciou características do estado fresco ou mesmo no acabamento superficial, porém, seus efeitos foram mais claramente observados no custo do material.

Outros fatores das misturas estudadas, como o traço e a adição de madeira, mostraram-se com importante flexibilidade de uso, inclusive com potencial para serem usados como parâmetros de dosagem para o material após seu aperfeiçoamento.

## 7.2 – Sugestões para pesquisas futuras

- Mineralização dos resíduos, para combater a liberação de extrativos;
- Tratamento dos resíduos com banho térmico, para remover os extrativos antes da mistura;
- Ensaios de resistência à tração, flexão, e cisalhamento, para melhor caracterização do material;
- Ensaios de resistência à abrasão, para avaliação quanto ao uso como material de revestimento.

## 8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Êxodo, Português, In: A Bíblia Sagrada – Edições Loyola – São Paulo. Impresso por R.R. Donnelley Sons Company. United States of America, 1995.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **EB 1763** Aditivos para concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro, 1992.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5732** - Cimento Portland comum. Rio de Janeiro, 1991

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5735** - Cimento Portland de alto-forno. Rio de Janeiro, 1991.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5739** - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5741** - Extração e preparação de amostras de cimentos. Rio de Janeiro, 1993.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7211** - Agregado para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 1983.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7217** - Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7251** - Agregado em estado solto - determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11578** - Cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1991.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12654** - Controle tecnológico de materiais componentes do concreto. Rio de Janeiro, 1992.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12655** - Preparo, controle e recebimento de concreto. Rio de Janeiro, 1996.

A literature review on the composting of composite wood products; University of New South Wales, Sydney, Australia, 2000.

AGGARWAL, L. K.; Bagasse-reinforced Cement Composites. Central Building Research Institute. India, 1995.

AKBULUT, T.; HIZIROGLU S.; AYRILMIS N.; Surface absorption, surface roughness, and formaldehyde emission of Turkish medium density fiberboard. Forest Products Journal Vol.50, nº6, June 2000.

BASTOS, Pedro Kopschitz Xavier; CINCOTTO, Maria Alba, Retração de compósitos à base de cimento. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2000.

BASTOS, Pedro Kopschitz Xavier; DÉTRICHÉ, Charles–Henri; BALAYSSAC, Jean–Paul; CINCOTTO, Maria Alba. Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas em argamassas de cimento. ANTAC Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2002.

BAUMANN, Melissa G. D., Air quality and composite wood products. Idaho U.S.A. –  
Women in Natural Resources – 2000

BAUMANN, Melissa G. D., Volative organic chemical emissions from composite wood  
products: a review. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin –  
2000

BILBA, K.; ARSENE, M-A., OUENSANGA, A.; Sugar cane bagasse fibre reinforced cement  
composites. Part I. Influence of the botanical components of bagasse on the setting of  
bagasse/cement composite. Laboratoire de Chimie, COVACHIM-Matériaux, UFR SEN –  
Université des Antilles et de la Guyane. Pointe-à-Pitre Cedex, France. 2001.

BLANKENHORN, Paul R., BLANKENHORN Brad D., SILSBEEB, Michael R.,  
DiCOLAB, Maria; Effects of fiber surface treatments on mechanical properties of wood  
fiber–cement composites; Pennsylvania State University. University Park PA. Cement and  
Concrete Research n°31. 2001

BOSER, Richard; RAGSDALE, Tory; DUVEL, Charles, Recycled foam and cement  
composites in insulating concrete forms. Journal of Industrial Technology ed. maio/junho  
2002

BOUGUERRA, A.; LEDHEM, A. BARQUIN, F de; DHEILLY R. M. QUÉNEUDEC, M.  
Effect of microstructure on the mechanical and thermal properties of lightweight concrete  
prepared from clay, cement and wood aggregates. Laboratoire Bâtiment: Université de  
Picardie Jules Verne, IUT, Département Génie Civil, França. 1998

BOUGUERRA, A.; SALLÉE, H.; BARQUIN, F. de; DHEILLY, R. M. QUÉNEUDEC M.  
Isothermal moisture properties of wood-cementitious composites. Laboratoire Bâtiment:  
Université Picardie Jules Verne, IUT, Département Génie Civil, França

CAMPOS, Cristiane Inácio; BERALDO, Antonio Ludovico; HELLMEISTER, João César; Caracterização mecânica de compósito cimento-madeira de reflorestamento (*Cunninghamia lanceolata Hook*) São Carlos, SP 1999

CHEN, H. J., YEN, T., LIA T. P., HUANG Y. L. Determination of the dividing strength and its relation to the concrete strength in lightweigh aggregate concrete. Department of Civil Engineering, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan. 1998

CLEMONS, Craig M.; CAULFIELD, Daniel F.; GIACOMIN, Jeffrey A. - Dynamic fracture toughness of cellulose fiber-reinforced polypropylene: preliminary investigation of micro structural effects. - EUA – 1999

Construction Inovation – IRC – Institute for Research in Construction, IRC researchers participate in restoration of Parliamentary Library – Volume 5, Number 4, 2000

CORETTI, Ramirez A., ECKELMAN, C. A., WOLFE, R. W. - Inorganic-bonded composite wood panel systems for low-cost housing: a Central American perspective. USDA Forest Services, Forest Products Laboratory, Madison, Wis. - EUA - 1998

COUTTS, R. S. P.; NI, Y.; Autoclaved Bamboo Pulp Fibre Reinforced Cement. CSIRO Division of Forest Products. Melbourne, Australia. 1995

DANTAS, Francisco de Assis Souza, Agregados leves e concretos alternativos. Tecnologias e materiais alternativos de construção. Unicamp, São Paulo SP, 2003.

DE SOUZA, M. R., GEIMER, R.L. & MOSLEMI, A.A. Degradation of conventional and CO<sub>2</sub>-injected cement-bonded particleboard by exposure to fungi and termites. 1997.

DIAS, Genebaldo Freire. Educação Ambiental - Princípios e práticas, 6ª ed. Gaia, São Paulo - SP (2000)

Economic Research Service. USDA. Supply of recovered wood and paper is an impetus for recycling. Forest Products Laboratory; Madison, Wisconsin. 1996.

ELISABETH, Lynne; Design Principles: The Natural Building Movement, part 1 – Contemporary Construction: Contemporary Natural Building Methods. John Wiley & Sons, Inc. 2000.

ENGLISH, Brent; YOUNGQUIST, John A.; KRZYSIK, Andrzej M. Lignocellulosic Composites, Cellulosic polymers, blends and composites. Chapter 6. Hanser Publishers, New York, 1994.

ENGLISH, Brent. Meeting Society's Challenge: Value-added Products From Recycled Materials. US Forest Products Laboratory, Madison Wisconsin U.S.A. 1992.

FALK, Robert H., Housing Products From Recycled Wood; USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin, USA 1994.

FALK, Robert H., The properties of lumber and timber recycled from deconstructed buildings. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory. Madison, Wisconsin, USA / Pacific Timber Engineering Conference, Rotorua, New Zealand. 1999

FELTON, Colin C.; DE GROOT, Rodney C. – The recycling potential of preservative-treated wood – Forest products laboratory – Madison, Wisconsin – 1996

FERRANTE, M., SANTOS, S.F., DE CASTRO J.F.R. Materials Selection as an Interdisciplinary Technical Activity: Basic Methodology and Case Studies; Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia de Materiais, 2000

FONSECA, Fábio de Oliveira.; LIMA, Alexandre Martins; MACÊDO, Alcebíades Negrão; TEIXEIRA, Monique Meireles – Compósito cimento-madeira com resíduos provenientes da



indústria madeireira da região amazônica. – VIII Ebramem – Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira – Uberlândia MG. 2002

Food and Agriculture Organization of the United Nations - Comitee on Forestry - The global forest resources assessment 2000 summary report. Rome, Italy. 2001.

Forest Products Laboratory - Wood Handbook - wood as an engineering material - Madison, Wisconsin, USA - 1999

GASSAN, Jochen; A study of fibre and interface parameters affecting the fatigue behavior of natural fibre composites. Institute für Werstofftechnik, University of Kassel, Kassel, Germany. 2001.

GEIMER, Robert L.; SOUZA, Mário Rabelo; MOSLEMI; Ali A. – Low density cement-bonded wood composites made conventionally and with carbon dioxide injection – Forest products laboratory – Madison Wisconsin – 1997

GEIMER, Robert L.; LEÃO, Alcides.; ARMBRUSTER, Dave; ARTURO, Pablo; - Property enhancement of wood composites using gas injection - USA - 1996

GHAVAMI, Khosrow; TOLEDO, Romildo D.; BARBOSA, Normando P. Behaviour of composite soil reinforced with natural fibres. Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, Brasil. 1998.

GOMEZ-BUESO, J.; WESTIN M.; TORGILSSON R.; OLESEN P. O.; SIMONSON R. Composites made from acetylated lignocellulosic fibers of different origin. University of Ljubljana. Holz Roh Werkst vol 58 n°1 June 2000

GRANDI, Luiz Alfredo Cotini; Placas pré-moldadas de argamassa de cimento e pó-de-serra. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. 1995.

GUINIER, André. A estrutura da matéria. EDUSP, São Paulo, SP, 1996

HANNA Awad S., SENOUCI Ahmed B. Material cost minimization of concrete wall forms. Building and Environment, vol 32 Elsevier Science, Great Britain 1997.

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 Abstract. 1984

HUANG C; COOPER P A; Cement-bonded particleboards using CCA-treated wood removed from service; University of Toronto; Forest Prod. J. vol. 50, no. 6, June 2000.

IMBEAH, Maleena. Wood ash as mineral supplement. Department of Agriculture. Boroko, Papua New Guinea, 1998

JANKOWSKY, Ivaldo Pontes, Melhorando a eficiência dos secadores para madeira serrada. IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Rio de Janeiro. 2000

JOHN, Vanderley M. Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2000.

JOHN Vanderley M., AGOPYAN, Vahan. Reciclagem de resíduos na construção. Seminário – Reciclagem de Resíduos Sólidos. São Paulo 2001.

JOHN, Moacir Vanderley; CINCOTTO, Maria Alba; SILVA, Maristela Gomes, Cinzas e aglomerantes alternativos. Tecnologias e materiais alternativos de construção. Unicamp, São Paulo SP, 2003.

KISHI, Toshimaru; MAEKAWA, Koichi. Multi-component model for hydration heating of blended cement with blast furnace slag and fly ash. University of Tokio, Tokio, Japan. 1996

KISHI, Toshiharu; MAEKAWA, Koichi. Multi-component model for hydration heating of portland cement University of Tokio, Tokio, Japan. 1996

KHEDARI, Joseph; SUTTISONK, Borisut; PRATINTHONG, Naris; HIRUNLABH, Jongjit. New lightweight composite construction materials with low thermal conductivity. Building Scientific Research Center, School of energy and materials, King Mongkut's university of Technology Thonburi, Bangmod Rasburana Thungkru, Bangkok, Thailand. 2000.

KRZYSIK, Andrej M.; YOUNGQUIST, John A. MYERS, George. CHAHYADI, Ichwan S. Wood-polymer bonding in extruded and nonwoven web composite panels. Forest Products Research Society. Madison, Wisconsin. 1991

LEBOW Stan T.; TIPPIE Michael; Guide for minimizing the effect of preservative-treated wood on sensitive environments. USDA Forest Service. Forest Products Laboratory. Madison, Wisconsin. 2001.

LEDHEM A., DHEILLY, R. M. BENMALEK, M. L. Quéneudec M.; Properties of wood-based composites formulated with aggregate industry waste. Institut de Génie Civil Centre Université de Laghouat, Laghouat, Algeria / Laboratoire des Transferts et Réactivité dans les Milieux Condensés, IUT Département de Génie Civil - université de Picardie Jules, França / Institut de Génie Civil Centre Université de Guelma, Guelma, Algeria. 2000

LEDHEM A., DHEILLY, R. M. Quéneudec M.; Reuse of waste oils in the treatment of wood aggregates. Laboratoire des Transferts et Réactivité dans les Milieux Condensés, Université de picardie Jules Verne, IUT Département Génie Civil, França. 1999

LHONEUX, Benoit de; KALBSKOPF, Reinhard; KIM Patrícia; LI, Victor; LIN, Zhong; VIDTS, Dirk; WANG, S.; WU, Hwai-Chung. Development of high tenacity polypropylene

fibres for cementitious composites. Advanced Civil Engineering Materials research Laboratory, University of Michigan, Ann Arbor. U.S.A.

LIMA, José Antônio Ribeiro de, Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos. Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 1999.

LIMA, Carlos Roberto de, Viabilidade econômica da produção de briquetes a partir da serragem de pinus SP. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal da Paraíba. III Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. São Paulo, 1998.

MAHAN, Bruce M., MYERS, Rollie J. - Química, Um curso universitário, 4 ed, Edgard Blücher Ltda. São Paulo - SP, 1993

MAI, Yiu-Wing; Cohesive zone and crack-resistance (R)-curve of cementitious materials and their fibre-reinforced composites. Department of manufacturing Engineering and Engineering Management (MEEM), city university of Hong Kong, Hong Kong; Centre for Advanced Materials Technology (CAMT) / School of Aerospace, Mechanical and Mechatronic Engineering. University of Sydney, Australia (2002)

MASON T. O.; CAMPO, M. A.; HIXSON, A. D.; WOO, L. Y. Impedance spectroscopy of fiber-reinforced cement composites. Cement and Concrete Composites, Elsevier. 2001.

MARTINEZ-GUERRA M.L., GOMEZ A., MARTINEZ C., PORTALES A., PALOMAR A., VILLEGAS M., BARRIOS R. - Pulmonary arterial hypertension and cor pulmonale associated with chronic domestic woodsmoke inhalation. Burning Issues – Point Arena, CA – 1993 – disponível em: <http://www.webcom.com/~bi/health-effects.html>

MASON, T. O.; CAMPO, M. A.; HIXSON, A. D.; WOO L. Y.; Impedance Spectroscopy of Fiber Reinforced Cement Composites. Cement And Concrete Composites - Evanston, IL, USA, 2001

McKEEVER, David B.; YOUNGQUIST, John A.; ENGLISH, Brent W. - Sources and availability of recovered wood and fiber for composite products. Proceedings of the 29<sup>th</sup> international particleboard/composite materials symposium. Pullman Washington. Washington State University. U.S.A. 1996

MILLER, Regis B. Structure of wood. Forest Products Laboratory, Madison Wisconsin. 1999.

MILLER, David Paul. Wood-cement composites: Interactions of wood components with portland cement. 1987.

MORREL J. J. Wood-based building components what have we learned? Department of Forest Products, Oregon State University, Corvallis U.S.A.

MUNGWA, Martin S.; JULLIEN Jean-François; FOUJNET, Amos; HENTGES Guy. Experimental study of a composite wood-concrete beam with the INSA-Hilti new flexible shear connector. Ecole Nationale Supérieure Polytechnique, University of Yaoundé, Yaoundé, Cameroon 1999

NANCO, Hiroki; Wood Pulp Fiber Reinforced Cement-Based Composites. Georgia Institute of Technology, School of Civil and Environmental Engineering, Structural Engineering, mechanics and materials group. Disponível em <http://www.ce.gatech.edu/~kkurtis/pulpproj.html> acesso em 11/04/2002

NEITALAH Narayanan; WEISS, Jason; OLEK, Jan. Acoustic performance and Damping behavior of cellulose-cement composites. School of Civil Engineering, Purdue University. West Lafayette, Indiana U.S.A.

New York State Department of Transportation. Engineering Instruction: Implementation of class HP concrete. New York U.S.A. 1996.

NOGUEIRA, José de Souza; NOGUEIRA Marta Cristina de Jesus Albuquerque; ARAÚJO, Dorcas Florentino; NASCIMENTO, Flávia Souza; ARAÚJO, Robinson de Carvalho; SANTOS, Silvia Regina. Propriedades físicas: influência da impregnação e não impregnação com polímero natural na madeira. UFMT Cuiabá - Mato Grosso 1998.

NJOH, Ambe J. Engineering for poverty eradication in Cameron. Annual Nacional Convention of the Cameron Society of Engineers. Houston, Texas, U.S.A. 1999.

NORTHEY, Robert. Introduction to pulp and paper recycling. Cement and Concrete composites. Elsevier. USA 1995.

OKAFOR, F. O., EZE-UZOMAKA, O. J.; EGBUNIWE N., The structural properties and optimum mix proportions of palmmut fibre-reinforced mortar composite. 1996.

PELED, Alva; BENTUR, Arnon; Geometrical characteristics and efficiency of textile fabrics for reinforcing cement composites. National Building Research Institute, Faculty of Civil Engineering, Technion, Israel Institute of Technology, Haifa, Israel. 2000

PEREIRA, Lucia de Fátima L. da Costa, CINCOTTO, Maria Alba – Determinação de cloretos em concreto de cimento portland: influência do tipo de cimento – São Paulo – 2001

PIMENTEL, L. L., Beraldo, A. L.; Efeito de tratamentos sobre a resistência à compressão de compósito pinus-cimento. XXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, - Conbea - Fortaleza, Ceará, 2000.

PIMENTEL, Lia Lorena; BERALDO, Antonio Ludovico - Utilização de resíduos de Pinus caribaea na produção de compósito madeira-cimento - São Carlos - 1999

PIMIENTA, P; CHANDELLIER, J; RUBAUD, M; DUTRUEL, F; NICOLE, H. Étude de faisabilité des procédés de construction à base de béton de bois - Cahiers du CSTB, Paris, France, 1994.

RIM, Al K. LEDHEM, A. DOUZANE, O. Dheilily, R. M. QUENEUDEC, M. Influence of the proportion of wood on the thermal and mechanical performances of clay-cement-wood composites. Laboratoire des Transferts et Réactivité dans les Milieux Condensés, IUT Génie Civil, Université de Picardie Jules Verne, Amiens, França. 1999.

SAKAI, Etsuo; YAMADA, Kazuo; OHTA Alira. Molecular Structure and Dispersion-Absorption Mechanisms of Comb-Type Superplasticizers Used in Japan. Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 1 No. 1. Japan Concrete Institute. 2003.

SANJUÁN, M. A.; FILHO, R.D. Toledo, Effectiveness of crack control at early age on the corrosion of steel bars in low modulus sisal and coconut fibre-reinforced mortars. Instituto de Ciencias de la Construction "Eduardo Torroja" Madrid Spain. 1998.

SAVASTANO, H WARDEN P. G. COUTTS, R. S. P., Gound iron blast furnace slag as a matrix for cellulose-cement materials. Cement and concrete composites. 2000

SAVASTANO, H.; WARDEN, P. G.; COUTTS, R. S. P. Brazilian waste fibres as reinforcement for cement-based composites. Cement and concrete composites. 2000

SAVASTANO, Holmer; DANTAS, Francisco de Assis Souza; AGOPYAN, Vahan -  
Materiais reforçados com fibras - Correlação entre a zona de transição fibra-matriz e as  
propriedades mecânicas. São Paulo, SP - 1994

SEMPLE, K. E.; CUNNINGHAM, R. B.; Evans P. D. The suitability of five Western  
Australian mallee eucalypt species for wood-cement composites. Department of Forestry, The  
Australian National University, Canberra Australia. 2002.

SILVA, Aluizio Caldas, Estudo da durabilidade de compósitos reforçados com fibras de  
celulose. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo 2002.

SIMATUPANG, M. H. HABIGHORST, H. Lange, NEUBAUER, A. Investigations on the  
influence of the Addition of Carbon Dioxide on the Production and Properties of Rapidly Set  
Wood-Cement Composites. Federal Research Center for forestry and forest products, institute  
of Wood Chemistry and Chemical Technology of Wood. Hamburg, Germany. 1995

SMITH, Bob; ALDERMAN, Delton; Still Value Added Opportunities in Wood Residues.  
University of Virginia USA 2000

STAHL, Douglas C.; CRAMER, Steven M.; GEIMER, Robert L. - Effects of microstructural  
heterogeneity in cement Excelsior board - USA - 1997

Summary of noise barriers constructed by December 31, 2000. United States Department of  
Transportation; Federal Highway Administration; Office of Natural Environment; Noise  
Team; Washington, D.C. 2000.

NUMAZAWA, Sueo. Utilização Racional dos Resíduos da Indústria Madeireira. VI  
Congresso Internacional de Compensado e Madeira Tropical. Belém – Pará. 2003



TEIXEIRA, Divino Eterno, MOSLEMI Al; Assessing modulus of elasticity of wood-fiber cement (WFC) sheets using nondestructive evaluation (NDE). *Bioresource Technology* 79; Department of forest products, University of Idaho, USA - 2001

TEIXEIRA, Divino Eterno; ALVES Marcus Vinícius da Silva; COSTA Alexandre Florlan; SOUZA, Nilton Goulart de. Características de chapas de cimento-madeira com partículas de seringueira (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.) tratadas com CCA – Laboratório de Produtos Florestais / Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Universidade de Brasília – 2001.

TRIANATAFILOU, Thanasis C., Composites: a new possibility for the shear strengthening of concrete, masonry and wood. Department of civil engineering, University of Patras, Patras, Grécia. 1998.

United States Forest Products Laboratory. Meeting society's challenge: Value-added products from recycled materials. Madison, Wisconsin, USA. 1992

WASSILIEF, Con; Sound absorption of wood-based materials. Marshall Day Associates. Wellington, New Zealand. 1996

WOLFE, Ronald W., GJINOLLI, A. - Cement-Bonded wood composites as an engineering material - USDA Forest Services, Forest Products Laboratory, Madison, Wis. - EUA - 1997

WOLFE, Ronald W., GJINOLLI, A. - Durability and strength of cement-bonded wood particle composites made from construction waste - USDA Forest Services, Forest Products Laboratory, Madison, Wis. - EUA – 1999

YOUNGQUIST, John A.; MYERS, George E.; MUEHL, James H.; KRZYSIK, Andrzej, M.; CLEMES, Craig M. Composites from recycled wood and plastics. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory. Madison. Wisconsin. USA. 1994.

YOUNGS Robert L.; YOUNGQUIST John A. Forest products research in International Union of Forestry Research Organizations (IUFRO): history and potential. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory. Madison. Wisconsin. USA. 1999.

ZHANGA Jun, LIB Victor C.; Effect of inclination angle on fiber rupture load in fiber reinforced cementitious composites. Department of Civil Engineering, Tsinghua University, Beijing, China. 2002

## **ANEXOS**

**ANEXO A – TENSÕES DE RUPTURA POR COMPRESSÃO AXIAL AOS 28 DIAS**

Tabela 15 – Tensões de ruptura à compressão axial aos 28 dias para o traço 1:1

Tensões de ruptura (MPa)									
1:M	Adição de madeira	CP I				CP II			
		sem aditivo		com aditivo		sem aditivo		com aditivo	
1:1	5%	<i>1.1</i>	<b>42,98</b>	<i>2.1</i>	<b>52,97</b>	<i>19.1</i>	<b>37,28</b>	<i>20.1</i>	<b>49,91</b>
1:1	5%	<i>1.2</i>	<b>42,78</b>	<i>2.2</i>	<b>51,44</b>	<i>19.2</i>	<b>37,13</b>	<i>20.2</i>	<b>49,78</b>
1:1	5%	<i>1.3</i>	<b>42,73</b>	<i>2.3</i>	<b>50,96</b>	<i>19.3</i>	<b>36,92</b>	<i>20.3</i>	<b>49,61</b>
1:1	5%	<i>1.4</i>	<b>42,53</b>	<i>2.4</i>	<b>50,85</b>	<i>19.4</i>	<b>35,96</b>	<i>20.4</i>	<b>49,40</b>
1:1	5%	<i>1.5</i>	<b>40,64</b>	<i>2.5</i>	<b>50,67</b>	<i>19.5</i>	<b>34,99</b>	<i>20.5</i>	<b>49,20</b>
1:1	5%	<i>1.6</i>	<b>39,62</b>	<i>2.6</i>	<b>50,42</b>	<i>19.6</i>	<b>33,26</b>	<i>20.6</i>	<b>49,15</b>
1:1	5%	<i>1.7</i>	<b>39,09</b>	<i>2.7</i>	<b>49,96</b>	<i>19.7</i>	<b>31,65</b>	<i>20.7</i>	<b>43,04</b>
1:1	5%	<i>1.8</i>	<b>38,15</b>	<i>2.8</i>	<b>41,74</b>	<i>19.8</i>	<b>31,07</b>	<i>20.8</i>	<b>41,46</b>
1:1	5%	<i>1.9</i>	<b>36,34</b>	<i>2.9</i>	<b>39,88</b>	<i>19.9</i>	<b>29,95</b>	<i>20.9</i>	<b>40,57</b>
1:1	3,5%	<i>13.1</i>	<b>44,56</b>	<i>14.1</i>	<b>55,11</b>	<i>31.1</i>	<b>40,59</b>	<i>32.1</i>	<b>47,92</b>
1:1	3,5%	<i>13.2</i>	<b>44,36</b>	<i>14.2</i>	<b>55,00</b>	<i>31.2</i>	<b>40,23</b>	<i>32.2</i>	<b>47,62</b>
1:1	3,5%	<i>13.3</i>	<b>44,33</b>	<i>14.3</i>	<b>54,80</b>	<i>31.3</i>	<b>39,50</b>	<i>32.3</i>	<b>47,47</b>
1:1	3,5%	<i>13.4</i>	<b>44,26</b>	<i>14.4</i>	<b>54,65</b>	<i>31.4</i>	<b>39,27</b>	<i>32.4</i>	<b>47,31</b>
1:1	3,5%	<i>13.5</i>	<b>44,18</b>	<i>14.5</i>	<b>54,09</b>	<i>31.5</i>	<b>39,11</b>	<i>32.5</i>	<b>47,06</b>
1:1	3,5%	<i>13.6</i>	<b>43,57</b>	<i>14.6</i>	<b>51,95</b>	<i>31.6</i>	<b>38,86</b>	<i>32.6</i>	<b>46,91</b>
1:1	3,5%	<i>13.7</i>	<b>42,78</b>	<i>14.7</i>	<b>51,92</b>	<i>31.7</i>	<b>38,71</b>	<i>32.7</i>	<b>46,50</b>
1:1	3,5%	<i>13.8</i>	<b>41,51</b>	<i>14.8</i>	<b>51,18</b>	<i>31.8</i>	<b>37,64</b>	<i>32.8</i>	<b>46,09</b>
1:1	3,5%	<i>13.9</i>	<b>39,42</b>	<i>14.9</i>	<b>50,83</b>	<i>31.9</i>	<b>37,23</b>	<i>32.9</i>	<b>45,89</b>
1:1	2%	<i>3.1</i>	<b>47,06</b>	<i>4.1</i>	<b>58,21</b>	<i>21.1</i>	<b>41,71</b>	<i>22.1</i>	<b>50,42</b>
1:1	2%	<i>3.2</i>	<b>46,96</b>	<i>4.2</i>	<b>58,06</b>	<i>21.2</i>	<b>41,51</b>	<i>22.2</i>	<b>50,22</b>
1:1	2%	<i>3.3</i>	<b>46,42</b>	<i>4.3</i>	<b>58,03</b>	<i>21.3</i>	<b>41,35</b>	<i>22.3</i>	<b>50,17</b>
1:1	2%	<i>3.4</i>	<b>46,35</b>	<i>4.4</i>	<b>58,01</b>	<i>21.4</i>	<b>41,30</b>	<i>22.4</i>	<b>50,09</b>
1:1	2%	<i>3.5</i>	<b>46,29</b>	<i>4.5</i>	<b>57,91</b>	<i>21.5</i>	<b>41,15</b>	<i>22.5</i>	<b>49,91</b>
1:1	2%	<i>3.6</i>	<b>46,24</b>	<i>4.6</i>	<b>57,83</b>	<i>21.6</i>	<b>41,13</b>	<i>22.6</i>	<b>49,66</b>
1:1	2%	<i>3.7</i>	<b>45,86</b>	<i>4.7</i>	<b>57,70</b>	<i>21.7</i>	<b>41,00</b>	<i>22.7</i>	<b>49,63</b>
1:1	2%	<i>3.8</i>	<b>45,79</b>	<i>4.8</i>	<b>57,50</b>	<i>21.8</i>	<b>40,97</b>	<i>22.8</i>	<b>49,61</b>
1:1	2%	<i>3.9</i>	<b>45,58</b>	<i>4.9</i>	<b>57,04</b>	<i>21.9</i>	<b>40,90</b>	<i>22.9</i>	<b>49,61</b>

Obs: os índices em itálico representam a identificação dos corpos de prova

Tabela 16 – Tensões de ruptura à compressão axial aos 28 dias para o traço 1:2

Tensões de ruptura (MPa)									
1:M	Adição de madeira	CP I				CP II			
		sem aditivo		com aditivo		sem aditivo		com aditivo	
1:2	5%	<i>5.1</i>	<b>40,18</b>	<i>6.1</i>	<b>49,40</b>	<i>23.1</i>	<b>36,41</b>	<i>24.1</i>	<b>44,77</b>
1:2	5%	<i>5.2</i>	<b>39,73</b>	<i>6.2</i>	<b>49,17</b>	<i>23.2</i>	<b>35,29</b>	<i>24.2</i>	<b>44,67</b>
1:2	5%	<i>5.3</i>	<b>39,44</b>	<i>6.3</i>	<b>48,99</b>	<i>23.3</i>	<b>35,19</b>	<i>24.3</i>	<b>44,41</b>
1:2	5%	<i>5.4</i>	<b>39,42</b>	<i>6.4</i>	<b>48,74</b>	<i>23.4</i>	<b>34,99</b>	<i>24.4</i>	<b>44,33</b>
1:2	5%	<i>5.5</i>	<b>39,22</b>	<i>6.5</i>	<b>48,64</b>	<i>23.5</i>	<b>34,78</b>	<i>24.5</i>	<b>44,21</b>
1:2	5%	<i>5.6</i>	<b>39,19</b>	<i>6.6</i>	<b>48,61</b>	<i>23.6</i>	<b>34,66</b>	<i>24.6</i>	<b>44,05</b>
1:2	5%	<i>5.7</i>	<b>38,81</b>	<i>6.7</i>	<b>48,54</b>	<i>23.7</i>	<b>34,33</b>	<i>24.7</i>	<b>44,03</b>
1:2	5%	<i>5.8</i>	<b>31,58</b>	<i>6.8</i>	<b>47,98</b>	<i>23.8</i>	<b>31,32</b>	<i>24.8</i>	<b>43,82</b>
1:2	5%	<i>5.9</i>	<b>27,53</b>	<i>6.9</i>	<b>44,46</b>	<i>23.9</i>	<b>31,04</b>	<i>24.9</i>	<b>41,71</b>
1:2	3,5%	<i>15.1</i>	<b>42,68</b>	<i>16.1</i>	<b>50,27</b>	<i>33.1</i>	<b>36,77</b>	<i>34.1</i>	<b>44,97</b>
1:2	3,5%	<i>15.2</i>	<b>42,04</b>	<i>16.2</i>	<b>50,17</b>	<i>33.2</i>	<b>36,67</b>	<i>34.2</i>	<b>44,92</b>
1:2	3,5%	<i>15.3</i>	<b>41,92</b>	<i>16.3</i>	<b>50,09</b>	<i>33.3</i>	<b>36,62</b>	<i>34.3</i>	<b>44,77</b>
1:2	3,5%	<i>15.4</i>	<b>41,63</b>	<i>16.4</i>	<b>50,06</b>	<i>33.4</i>	<b>36,41</b>	<i>34.4</i>	<b>44,56</b>
1:2	3,5%	<i>15.5</i>	<b>41,51</b>	<i>16.5</i>	<b>50,04</b>	<i>33.5</i>	<b>36,34</b>	<i>34.5</i>	<b>44,26</b>
1:2	3,5%	<i>15.6</i>	<b>40,77</b>	<i>16.6</i>	<b>49,91</b>	<i>33.6</i>	<b>36,13</b>	<i>34.6</i>	<b>44,23</b>
1:2	3,5%	<i>15.7</i>	<b>40,67</b>	<i>16.7</i>	<b>49,89</b>	<i>33.7</i>	<b>36,06</b>	<i>34.7</i>	<b>44,05</b>
1:2	3,5%	<i>15.8</i>	<b>40,59</b>	<i>16.8</i>	<b>49,66</b>	<i>33.8</i>	<b>35,91</b>	<i>34.8</i>	<b>43,95</b>
1:2	3,5%	<i>15.9</i>	<b>40,29</b>	<i>16.9</i>	<b>49,55</b>	<i>33.9</i>	<b>35,68</b>	<i>34.9</i>	<b>43,80</b>
1:2	2%	<i>7.1</i>	<b>43,44</b>	<i>8.1</i>	<b>52,51</b>	<i>25.1</i>	<b>37,69</b>	<i>26.1</i>	<b>45,63</b>
1:2	2%	<i>7.2</i>	<b>43,39</b>	<i>8.2</i>	<b>52,41</b>	<i>25.2</i>	<b>37,59</b>	<i>26.2</i>	<b>45,53</b>
1:2	2%	<i>7.3</i>	<b>43,29</b>	<i>8.3</i>	<b>52,23</b>	<i>25.3</i>	<b>37,46</b>	<i>26.3</i>	<b>45,40</b>
1:2	2%	<i>7.4</i>	<b>43,19</b>	<i>8.4</i>	<b>52,13</b>	<i>25.4</i>	<b>36,67</b>	<i>26.4</i>	<b>45,35</b>
1:2	2%	<i>7.5</i>	<b>43,16</b>	<i>8.5</i>	<b>52,00</b>	<i>25.5</i>	<b>36,36</b>	<i>26.5</i>	<b>44,92</b>
1:2	2%	<i>7.6</i>	<b>41,92</b>	<i>8.6</i>	<b>51,80</b>	<i>25.6</i>	<b>36,29</b>	<i>26.6</i>	<b>44,79</b>
1:2	2%	<i>7.7</i>	<b>41,76</b>	<i>8.7</i>	<b>51,26</b>	<i>25.7</i>	<b>36,08</b>	<i>26.7</i>	<b>44,61</b>
1:2	2%	<i>7.8</i>	<b>41,51</b>	<i>8.8</i>	<b>51,01</b>	<i>25.8</i>	<b>35,75</b>	<i>26.8</i>	<b>44,33</b>
1:2	2%	<i>7.9</i>	<b>40,77</b>	<i>8.9</i>	<b>50,88</b>	<i>25.9</i>	<b>35,65</b>	<i>26.9</i>	<b>44,28</b>

Obs: os índices em itálico representam a identificação dos corpos de prova

Tabela 17 – Tensões de ruptura à compressão axial aos 28 dias para o traço 1:3

Tensões de ruptura (MPa)									
1:M	Adição de madeira	CP I				CP II			
		sem aditivo		com aditivo		sem aditivo		com aditivo	
1:3	5%	<i>9.1</i>	<b>37,54</b>	<i>10.1</i>	<b>46,45</b>	<i>27.1</i>	<b>35,70</b>	<i>28.1</i>	<b>43,44</b>
1:3	5%	<i>9.2</i>	<b>37,43</b>	<i>10.2</i>	<b>46,35</b>	<i>27.2</i>	<b>35,68</b>	<i>28.2</i>	<b>43,34</b>
1:3	5%	<i>9.3</i>	<b>36,87</b>	<i>10.3</i>	<b>46,09</b>	<i>27.3</i>	<b>35,55</b>	<i>28.3</i>	<b>43,24</b>
1:3	5%	<i>9.4</i>	<b>36,62</b>	<i>10.4</i>	<b>46,01</b>	<i>27.4</i>	<b>35,50</b>	<i>28.4</i>	<b>43,21</b>
1:3	5%	<i>9.5</i>	<b>36,21</b>	<i>10.5</i>	<b>45,91</b>	<i>27.5</i>	<b>35,27</b>	<i>28.5</i>	<b>42,93</b>
1:3	5%	<i>9.6</i>	<b>35,83</b>	<i>10.6</i>	<b>45,79</b>	<i>27.6</i>	<b>34,99</b>	<i>28.6</i>	<b>42,83</b>
1:3	5%	<i>9.7</i>	<b>35,40</b>	<i>10.7</i>	<b>45,76</b>	<i>27.7</i>	<b>34,91</b>	<i>28.7</i>	<b>42,73</b>
1:3	5%	<i>9.8</i>	<b>24,12</b>	<i>10.8</i>	<b>45,07</b>	<i>27.8</i>	<b>23,68</b>	<i>28.8</i>	<b>42,68</b>
1:3	5%	<i>9.9</i>	<b>23,22</b>	<i>10.9</i>	<b>44,87</b>	<i>27.9</i>	<b>22,00</b>	<i>28.9</i>	<b>42,65</b>
1:3	3,5%	<i>17.1</i>	<b>40,44</b>	<i>18.1</i>	<b>48,43</b>	<i>35.1</i>	<b>36,06</b>	<i>36.1</i>	<b>43,95</b>
1:3	3,5%	<i>17.2</i>	<b>40,23</b>	<i>18.2</i>	<b>48,38</b>	<i>35.2</i>	<b>35,63</b>	<i>36.2</i>	<b>43,88</b>
1:3	3,5%	<i>17.3</i>	<b>40,01</b>	<i>18.3</i>	<b>48,00</b>	<i>35.3</i>	<b>35,55</b>	<i>36.3</i>	<b>43,70</b>
1:3	3,5%	<i>17.4</i>	<b>39,78</b>	<i>18.4</i>	<b>47,72</b>	<i>35.4</i>	<b>35,24</b>	<i>36.4</i>	<b>43,34</b>
1:3	3,5%	<i>17.5</i>	<b>39,47</b>	<i>18.5</i>	<b>47,42</b>	<i>35.5</i>	<b>34,86</b>	<i>36.5</i>	<b>43,14</b>
1:3	3,5%	<i>17.6</i>	<b>39,24</b>	<i>18.6</i>	<b>47,29</b>	<i>35.6</i>	<b>34,58</b>	<i>36.6</i>	<b>42,81</b>
1:3	3,5%	<i>17.7</i>	<b>39,01</b>	<i>18.7</i>	<b>47,03</b>	<i>35.7</i>	<b>34,33</b>	<i>36.7</i>	<b>42,60</b>
1:3	3,5%	<i>17.8</i>	<b>38,66</b>	<i>18.8</i>	<b>46,47</b>	<i>35.8</i>	<b>34,15</b>	<i>36.8</i>	<b>42,58</b>
1:3	3,5%	<i>17.9</i>	<b>31,73</b>	<i>18.9</i>	<b>46,24</b>	<i>35.9</i>	<b>34,02</b>	<i>36.9</i>	<b>41,38</b>
1:3	2%	<i>11.1</i>	<b>41,25</b>	<i>12.1</i>	<b>51,34</b>	<i>29.1</i>	<b>36,26</b>	<i>30.1</i>	<b>44,87</b>
1:3	2%	<i>11.2</i>	<b>41,02</b>	<i>12.2</i>	<b>50,90</b>	<i>29.2</i>	<b>36,16</b>	<i>30.2</i>	<b>44,84</b>
1:3	2%	<i>11.3</i>	<b>40,82</b>	<i>12.3</i>	<b>50,80</b>	<i>29.3</i>	<b>35,35</b>	<i>30.3</i>	<b>44,77</b>
1:3	2%	<i>11.4</i>	<b>40,44</b>	<i>12.4</i>	<b>50,57</b>	<i>29.4</i>	<b>34,96</b>	<i>30.4</i>	<b>44,51</b>
1:3	2%	<i>11.5</i>	<b>40,36</b>	<i>12.5</i>	<b>50,50</b>	<i>29.5</i>	<b>34,73</b>	<i>30.5</i>	<b>44,41</b>
1:3	2%	<i>11.6</i>	<b>40,34</b>	<i>12.6</i>	<b>50,27</b>	<i>29.6</i>	<b>34,38</b>	<i>30.6</i>	<b>44,33</b>
1:3	2%	<i>11.7</i>	<b>40,26</b>	<i>12.7</i>	<b>50,09</b>	<i>29.7</i>	<b>34,25</b>	<i>30.7</i>	<b>44,13</b>
1:3	2%	<i>11.8</i>	<b>40,18</b>	<i>12.8</i>	<b>49,73</b>	<i>29.8</i>	<b>34,20</b>	<i>30.8</i>	<b>44,16</b>
1:3	2%	<i>11.9</i>	<b>39,32</b>	<i>12.9</i>	<b>49,63</b>	<i>29.9</i>	<b>26,48</b>	<i>30.9</i>	<b>43,65</b>

Obs: os índices em itálico representam a identificação dos corpos de prova

## **ANEXO B – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O USO DE ADITIVO**



**Tabela 18 – Análise de variância para o traço 1:1, com 5% de madeira e cimento CPI**

Tensão de Ruptura (Mpa)				
1:M	resíduo	CP I		
		S/ Ad	C/ Ad	
1:1	5%	<b>42,98</b>	<b>52,97</b>	Anova: fator único
		<b>42,78</b>	<b>51,44</b>	<i>Grupo Contagem Soma Média Variância</i>
		<b>42,73</b>	<b>50,96</b>	Sem Aditivo 9 364,8595 40,53995 5,760069
		<b>42,53</b>	<b>50,85</b>	Com Aditivo 9 438,8857 48,76507 21,26983
		<b>40,64</b>	<b>50,67</b>	ANOVA
		<b>39,62</b>	<b>50,42</b>	<i>Fonte da variação SQ gl MQ F valor-P F crítico</i>
		<b>39,09</b>	<b>49,96</b>	Entre grupos 304,4373 1 304,4373 22,52596 0,000219 4,493998
		<b>38,15</b>	<b>41,74</b>	Dentro dos grupos 216,2392 16 13,51495
		<b>36,34</b>	<b>39,88</b>	Total 520,6764 17
		Desv. Padrão	2,40	4,61

**Tabela 19 – análise de variância para o traço 1:1, com 5% de madeira e cimento CPII**

Tensão de Ruptura (Mpa)				
1:M	resíduo	CP II		
		S/ Ad	C/ Ad	
1:1	5%	<b>37,28</b>	<b>49,91</b>	Anova: fator único
		<b>37,13</b>	<b>49,78</b>	<i>Grupo Contagem Soma Média Variância</i>
		<b>36,92</b>	<b>49,61</b>	Sem Aditivo 9 308,2004 34,24449 8,0567
		<b>35,96</b>	<b>49,40</b>	Com Aditivo 9 422,1044 46,90049 15,74755
		<b>34,99</b>	<b>49,20</b>	ANOVA
		<b>33,26</b>	<b>49,15</b>	<i>Fonte da variação SQ gl MQ F valor-P F crítico</i>
		<b>31,65</b>	<b>43,04</b>	Entre grupos 720,7846 1 720,7846 60,55933 7,92E-07 4,493998
		<b>31,07</b>	<b>41,46</b>	Dentro dos grupos 190,434 16 11,90212
		<b>29,95</b>	<b>40,57</b>	Total 911,2186 17
		Desv. Padrão	2,84	3,97

**Tabela 20 – Análise de variância para o traço 1:1, com 3,5% de madeira e cimento CPI**

Tensão de Ruptura (Mpa)				
1:M	resíduo	CP I		
		S/ Ad	C/ Ad	
1:1	3,5%	<b>44,56</b>	<b>55,11</b>	Anova: fator único
		<b>44,36</b>	<b>55,00</b>	<i>Grupo Contagem Soma Média Variância</i>
		<b>44,33</b>	<b>54,80</b>	Sem Aditivo 9 388,9747 43,21941 3,004745
		<b>44,26</b>	<b>54,65</b>	Com Aditivo 9 479,5275 53,28083 3,14501
		<b>44,18</b>	<b>54,09</b>	ANOVA
		<b>43,57</b>	<b>51,95</b>	<i>Fonte da variação SQ gl MQ F valor-P F crítico</i>
		<b>42,78</b>	<b>51,92</b>	Entre grupos 455,5449 1 455,5449 148,1506 1,67E-09 4,493998
		<b>41,51</b>	<b>51,18</b>	Dentro dos grupos 49,19804 16 3,074877
		<b>39,42</b>	<b>50,83</b>	Total 504,743 17
		Desv. Padrão	1,73	1,77

Tabela 21 – Análise de variância para o traço 1:1, com 3,5% de madeira e cimento CPII

Tensão de Ruptura (Mpa)				
1:M	resíduo	CP II		
		S/ Ad	C/ Ad	
1:1	3,5%	40,59	47,92	Anova: fator único
		40,23	47,62	<i>Grupo Contagem Soma Média Variância</i>
		39,50	47,47	Sem Aditivo 9 351,134 39,01489 1,185125
		39,27	47,31	Com Aditivo 9 422,7665 46,97405 0,484396
		39,11	47,06	ANOVA
		38,86	46,91	<i>Fonte da variação SQ gl MQ F valor-P F crítico</i>
		38,71	46,50	Entre grupos 285,0672 1 285,0672 341,4958 3,23E-12 4,493998
		37,64	46,09	Dentro dos grupos 13,35617 16 0,83476
		37,23	45,89	Total 298,4233 17
		Desv. Padrão	1,09	0,70

Tabela 22 – Análise de variância para o traço 1:1, com 2% de madeira e cimento CPI

Tensão de Ruptura (Mpa)				
1:M	resíduo	CP I		
		S/ Ad	C/ Ad	
1:1	2%	47,06	58,21	Anova: fator único
		46,96	58,06	<i>Grupo Contagem Soma Média Variância</i>
		46,42	58,03	Sem Aditivo 9 416,5531 46,28367 0,249673
		46,35	58,01	Com Aditivo 9 520,2966 57,81073 0,127872
		46,29	57,91	ANOVA
		46,24	57,83	<i>Fonte da variação SQ gl MQ F valor-P F crítico</i>
		45,86	57,70	Entre grupos 597,9292 1 597,9292 3167,457 8,01E-20 4,493998
		45,79	57,50	Dentro dos grupos 3,020362 16 0,188773
		45,58	57,04	Total 600,9496 17
		Desv. Padrão	0,50	0,36

Tabela 23 – Análise de variância para o traço 1:1, com 2% de madeira e cimento CPII

Tensão de Ruptura (Mpa)				
1:M	resíduo	CP II		
		S/ Ad	C/ Ad	
1:1	2%	41,71	50,42	Anova: fator único
		41,51	50,22	<i>Grupo Contagem Soma Média Variância</i>
		41,35	50,17	Sem Aditivo 9 371,022 41,22467 0,072213
		41,30	50,09	Com Aditivo 9 449,3008 49,92231 0,097286
		41,15	49,91	ANOVA
		41,13	49,66	<i>Fonte da variação SQ gl MQ F valor-P F crítico</i>
		41,00	49,63	Entre grupos 340,4203 1 340,4203 4016,78 1,21E-20 4,493998
		40,97	49,61	Dentro dos grupos 1,355993 16 0,08475
		40,90	49,61	Total 341,7763 17
		Desv. Padrão	0,27	0,31

Tabela 24 – Análise de variância para o traço 1:2, com 5% de madeira e cimento CPI

Tensão de Ruptura (Mpa)				
1:M	resíduo	CP I		
		S/ Ad	C/ Ad	
1:2	5%	<b>40,18</b>	<b>49,40</b>	Anova: fator único
		<b>39,73</b>	<b>49,17</b>	<i>Grupo Contagem Soma Média Variância</i>
		<b>39,44</b>	<b>48,99</b>	Sem Aditivo 9 335,0912 37,23235 20,12862
		<b>39,42</b>	<b>48,74</b>	Com Aditivo 9 434,5312 48,28124 2,219177
		<b>39,22</b>	<b>48,64</b>	ANOVA
		<b>39,19</b>	<b>48,61</b>	<i>Fonte da variação SQ gl MQ F valor-P F crítico</i>
		<b>38,81</b>	<b>48,54</b>	Entre grupos 549,3509 1 549,3509 49,16376 2,94E-06 4,493998
		<b>31,58</b>	<b>47,98</b>	Dentro dos grupos 178,7824 16 11,1739
		<b>27,53</b>	<b>44,46</b>	Total 728,1332 17
		Desv. Padrão	4,49	1,49

Tabela 25 – Análise de variância para o traço 1:2, com 5% de madeira e cimento CPII

Tensão de Ruptura (Mpa)				
1:M	resíduo	CP II		
		S/ Ad	C/ Ad	
1:2	5%	<b>36,41</b>	<b>44,77</b>	Anova: fator único
		<b>35,29</b>	<b>44,67</b>	<i>Grupo Contagem Soma Média Variância</i>
		<b>35,19</b>	<b>44,41</b>	Sem Aditivo 9 308,0221 34,22468 3,316364
		<b>34,99</b>	<b>44,33</b>	Com Aditivo 9 396,003 44,00033 0,828312
		<b>34,78</b>	<b>44,21</b>	ANOVA
		<b>34,66</b>	<b>44,05</b>	<i>Fonte da variação SQ gl MQ F valor-P F crítico</i>
		<b>34,33</b>	<b>44,03</b>	Entre grupos 430,035 1 430,035 207,512 1,4E-10 4,493998
		<b>31,32</b>	<b>43,82</b>	Dentro dos grupos 33,15741 16 2,072338
		<b>31,04</b>	<b>41,71</b>	Total 463,1924 17
		Desv. Padrão	1,82	0,91

Tabela 26 – Análise de variância para o traço 1:2, com 3,5% de madeira e cimento CPI

Tensão de Ruptura (Mpa)				
1:M	resíduo	CP I		
		S/ Ad	C/ Ad	
1:2	3,5%	<b>42,68</b>	<b>50,27</b>	Anova: fator único
		<b>42,04</b>	<b>50,17</b>	<i>Grupo Contagem Soma Média Variância</i>
		<b>41,92</b>	<b>50,09</b>	Sem Aditivo 9 372,0915 41,3435 0,647987
		<b>41,63</b>	<b>50,06</b>	Com Aditivo 9 449,6318 49,95909 0,05438
		<b>41,51</b>	<b>50,04</b>	ANOVA
		<b>40,77</b>	<b>49,91</b>	<i>Fonte da variação SQ gl MQ F valor-P F crítico</i>
		<b>40,67</b>	<b>49,89</b>	Entre grupos 334,0276 1 334,0276 951,1476 1,11E-15 4,493998
		<b>40,59</b>	<b>49,66</b>	Dentro dos grupos 5,61894 16 0,351184
		<b>40,29</b>	<b>49,55</b>	Total 339,6465 17
		Desv. Padrão	0,80	0,23

Tabela 27 – Análise de variância para o traço 1:2, com 3,5% de madeira e cimento CPII

Tensão de Ruptura (Mpa)				
1:M	resíduo	CP II		
		S/ Ad	C/ Ad	
1:2	3,5%	36,77	44,97	Anova: fator único
		36,67	44,92	<i>Grupo Contagem Soma Média Variância</i>
		36,62	44,77	Sem Aditivo 9 326,5859 36,28733 0,137959
		36,41	44,56	Com Aditivo 9 399,5171 44,39079 0,185746
		36,34	44,26	ANOVA
		36,13	44,23	<i>Fonte da variação SQ gl MQ F valor-P F crítico</i>
		36,06	44,05	Entre grupos 295,4975 1 295,4975 1825,718 6,4E-18 4,493998
		35,91	43,95	Dentro dos grupos 2,589643 16 0,161853
		35,68	43,80	Total 298,0871 17
		Desv. Padrão	0,37	0,43

Tabela 28 – Análise de variância para o traço 1:2, com 2% de madeira e cimento CPI

Tensão de Ruptura (Mpa)				
1:M	resíduo	CP I		
		S/ Ad	C/ Ad	
1:2	2%	43,44	52,51	Anova: fator único
		43,39	52,41	<i>Grupo Contagem Soma Média Variância</i>
		43,29	52,23	Sem Aditivo 9 382,4302 42,49225 1,011104
		43,19	52,13	Com Aditivo 9 466,2094 51,80104 0,371205
		43,16	52,00	ANOVA
		41,92	51,80	<i>Fonte da variação SQ gl MQ F valor-P F crítico</i>
		41,76	51,26	Entre grupos 389,9416 1 389,9416 564,1886 6,65E-14 4,493998
		41,51	51,01	Dentro dos grupos 11,05847 16 0,691155
		40,77	50,88	Total 401 17
		Desv. Padrão	1,01	0,61

Tabela 29 – Análise de variância para o traço 1:2, com 2% de madeira e cimento CPII

Tensão de Ruptura (Mpa)				
1:M	resíduo	CP II		
		S/ Ad	C/ Ad	
1:2	2%	37,69	45,63	Anova: fator único
		37,59	45,53	<i>Grupo Contagem Soma Média Variância</i>
		37,46	45,40	Sem Aditivo 9 329,5399 36,61554 0,616915
		36,67	45,35	Com Aditivo 9 404,8647 44,98497 0,265398
		36,36	44,92	ANOVA
		36,29	44,79	<i>Fonte da variação SQ gl MQ F valor-P F crítico</i>
		36,08	44,61	Entre grupos 315,213 1 315,213 714,5143 1,05E-14 4,493998
		35,75	44,33	Dentro dos grupos 7,058511 16 0,441157
		35,65	44,28	Total 322,2715 17
		Desv. Padrão	0,79	0,52

Tabela 30 – Análise de variância para o traço 1:3, com 5% de madeira e cimento CPI

Tensão de Ruptura (Mpa)				
1:M	resíduo	CP I		
		S/ Ad	C/ Ad	
1:3	5%	<b>37,54</b>	<b>46,45</b>	Anova: fator único
		<b>37,43</b>	<b>46,35</b>	<i>Grupo Contagem Soma Média Variância</i>
		<b>36,87</b>	<b>46,09</b>	Sem Aditivo 9 303,2347 33,69275 32,82019
		<b>36,62</b>	<b>46,01</b>	Com Aditivo 9 412,3004 45,81116 0,28224
		<b>36,21</b>	<b>45,91</b>	ANOVA
		<b>35,83</b>	<b>45,79</b>	<i>Fonte da variação SQ gl MQ F valor-P F crítico</i>
		<b>35,40</b>	<b>45,76</b>	Entre grupos 660,8515 1 660,8515 39,92767 1,02E-05 4,493998
		<b>24,12</b>	<b>45,07</b>	Dentro dos grupos 264,8195 16 16,55122
		<b>23,22</b>	<b>44,87</b>	Total 925,671 17
		Desv. Padrão	5,73	0,53

Tabela 31 – Análise de variância para o traço 1:3, com 5% de madeira e cimento CPII

Tensão de Ruptura (Mpa)				
1:M	resíduo	CP II		
		S/ Ad	C/ Ad	
1:3	5%	<b>35,70</b>	<b>43,44</b>	Anova: fator único
		<b>35,68</b>	<b>43,34</b>	<i>Grupo Contagem Soma Média Variância</i>
		<b>35,55</b>	<b>43,24</b>	Sem Aditivo 9 293,278 32,58644 30,77522
		<b>35,50</b>	<b>43,21</b>	Com Aditivo 9 387,0648 43,0072 0,092963
		<b>35,27</b>	<b>42,93</b>	ANOVA
		<b>34,99</b>	<b>42,83</b>	<i>Fonte da variação SQ gl MQ F valor-P F crítico</i>
		<b>34,91</b>	<b>42,73</b>	Entre grupos 488,6649 1 488,6649 31,6614 3,78E-05 4,493998
		<b>23,68</b>	<b>42,68</b>	Dentro dos grupos 246,9454 16 15,43409
		<b>22,00</b>	<b>42,65</b>	Total 735,6104 17
		Desv. Padrão	5,55	0,30

Tabela 32 – Análise de variância para o traço 1:3, com 3,5% de madeira e cimento CPI

Tensão de Ruptura (Mpa)				
1:M	resíduo	CP I		
		S/ Ad	C/ Ad	
1:3	3,5%	<b>40,44</b>	<b>48,43</b>	Anova: fator único
		<b>40,23</b>	<b>48,38</b>	<i>Grupo Contagem Soma Média Variância</i>
		<b>40,01</b>	<b>48,00</b>	Sem Aditivo 9 348,5621 38,72912 7,225975
		<b>39,78</b>	<b>47,72</b>	Com Aditivo 9 426,9936 47,44374 0,603136
		<b>39,47</b>	<b>47,42</b>	ANOVA
		<b>39,24</b>	<b>47,29</b>	<i>Fonte da variação SQ gl MQ F valor-P F crítico</i>
		<b>39,01</b>	<b>47,03</b>	Entre grupos 341,7505 1 341,7505 87,30251 7E-08 4,493998
		<b>38,66</b>	<b>46,47</b>	Dentro dos grupos 62,63288 16 3,914555
		<b>31,73</b>	<b>46,24</b>	Total 404,3834 17
		Desv. Padrão	2,69	0,78

Tabela 33 – Análise de variância para o traço 1:3, com 3,5% de madeira e cimento CPII

Tensão de Ruptura (Mpa)				
1:M	resíduo	CP II		
		S/ Ad	C/ Ad	
1:3	3,5%	<b>36,06</b>	<b>43,95</b>	Anova: fator único
		<b>35,63</b>	<b>43,88</b>	<i>Grupo Contagem Soma Média Variância</i>
		<b>35,55</b>	<b>43,70</b>	Sem Aditivo 9 314,4138 34,93486 0,52062
		<b>35,24</b>	<b>43,34</b>	Com Aditivo 9 387,3704 43,04116 0,659768
		<b>34,86</b>	<b>43,14</b>	ANOVA
		<b>34,58</b>	<b>42,81</b>	<i>Fonte da variação SQ gl MQ F valor-P F crítico</i>
		<b>34,33</b>	<b>42,60</b>	Entre grupos 295,7039 1 295,7039 501,0285 1,67E-13 4,493998
		<b>34,15</b>	<b>42,58</b>	Dentro dos grupos 9,443098 16 0,590194
		<b>34,02</b>	<b>41,38</b>	Total 305,1469 17
		Desv. Padrão	0,72	0,81

Tabela 34 – Análise de variância para o traço 1:3, com 2% de madeira e cimento CPI

Tensão de Ruptura (Mpa)				
1:M	resíduo	CP I		
		S/ Ad	C/ Ad	
1:3	2%	<b>41,25</b>	<b>51,34</b>	Anova: fator único
		<b>41,02</b>	<b>50,90</b>	<i>Grupo Contagem Soma Média Variância</i>
		<b>40,82</b>	<b>50,80</b>	Sem Aditivo 9 363,9937 40,44375 0,315113
		<b>40,44</b>	<b>50,57</b>	Com Aditivo 9 453,8335 50,42595 0,309764
		<b>40,36</b>	<b>50,50</b>	ANOVA
		<b>40,34</b>	<b>50,27</b>	<i>Fonte da variação SQ gl MQ F valor-P F crítico</i>
		<b>40,26</b>	<b>50,09</b>	Entre grupos 448,3993 1 448,3993 1435,16 4,31E-17 4,493998
		<b>40,18</b>	<b>49,73</b>	Dentro dos grupos 4,999016 16 0,312439
		<b>39,32</b>	<b>49,63</b>	Total 453,3983 17
		Desv. Padrão	0,56	0,56

Tabela 35 – Análise de variância para o traço 1:3, com 2% de madeira e cimento CPII

Tensão de Ruptura (Mpa)				
1:M	resíduo	CP II		
		S/ Ad	C/ Ad	
1:3	2%	<b>36,26</b>	<b>44,87</b>	Anova: fator único
		<b>36,16</b>	<b>44,84</b>	<i>Grupo Contagem Soma Média Variância</i>
		<b>35,35</b>	<b>44,77</b>	Sem Aditivo 9 306,7743 34,08604 8,716882
		<b>34,96</b>	<b>44,51</b>	Com Aditivo 9 399,6699 44,40777 0,158457
		<b>34,73</b>	<b>44,41</b>	ANOVA
		<b>34,38</b>	<b>44,33</b>	<i>Fonte da variação SQ gl MQ F valor-P F crítico</i>
		<b>34,25</b>	<b>44,13</b>	Entre grupos 479,4214 1 479,4214 108,0345 1,6E-08 4,493998
		<b>34,20</b>	<b>44,16</b>	Dentro dos grupos 71,00272 16 4,43767
		<b>26,48</b>	<b>43,65</b>	Total 550,4241 17
		Desv. Padrão	2,95	0,40

## **ANEXO C – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TIPO DE CIMENTO**

**Tabela 36 – Análise de variância para o traço 1:1, com 5% de madeira e sem aditivo**

CP I	CP II	Traço 1:1						
42,98	37,28	5% madeira						
42,78	37,13	Sem aditivo						
42,73	36,92	<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
42,53	35,96	CP I	9	364,8595	40,539947	5,760069		
40,64	34,99	CP II	9	308,2004	34,244485	8,0567		
39,62	33,26	<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>
39,09	31,65	Entre grupos	178,347801	1	178,3478	25,81614	0,0001112	4,49399806
38,15	31,07	Dentro dos grupos	110,534153	16	6,9083846			
36,34	29,95	Total	288,881954	17				

**Tabela 37 – Análise de variância para o traço 1:1, com 3,5% de madeira e sem aditivo**

CP I	CP II	Traço 1:1						
44,56	40,59	3,5% madeira						
44,36	40,23	Sem aditivo						
44,33	39,50	<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
44,26	39,27	CP I	9	388,9747	43,219409	3,004745		
44,18	39,11	CP II	9	351,134	39,014889	1,185125		
43,57	38,86	<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>
42,78	38,71	Entre grupos	79,5509456	1	79,550946	37,97299	1,366E-05	4,49399806
41,51	37,64	Dentro dos grupos	33,5189572	16	2,0949348			
39,42	37,23	Total	113,069903	17				

**Tabela 38 – Análise de variância para o traço 1:1, com 2% de madeira e sem aditivo**

CP I	CP II	Traço 1:1						
47,06	41,71	2% madeira						
46,96	41,51	Sem aditivo						
46,42	41,35	<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
46,35	41,30	CP I	9	416,5531	46,283672	0,249673		
46,29	41,15	CP II	9	371,022	41,224667	0,072213		
46,24	41,13	<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>
45,86	41,00	Entre grupos	115,170899	1	115,1709	715,6002	1,038E-14	4,49399806
45,79	40,97	Dentro dos grupos	2,57508916	16	0,1609431			
45,58	40,90	Total	117,745988	17				



**Tabela 39 – Análise de variância para o traço 1:1, com 5% de madeira e com aditivo**

CP I	CP II	Traço 1:1						
52,97	49,91	5% madeira						
51,44	49,78	Com aditivo						
50,96	49,61	<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
50,85	49,40	CP I	9	438,8857	48,765075	21,26983		
50,67	49,20	CP II	9	422,1044	46,900486	15,74755		
50,42	49,15	<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>
49,96	43,04	Entre grupos	15,6451077	1	15,645108	0,845285	0,3715434	4,49399806
41,74	41,46	Dentro dos grupos	296,139	16	18,508688			
39,88	40,57	Total	311,784108	17				

**Tabela 40 – Análise de variância para o traço 1:1, com 3,5% de madeira e com aditivo**

CP I	CP II	Traço 1:1						
55,11	47,92	3,5% madeira						
55,00	47,62	Com aditivo						
54,80	47,47	<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
54,65	47,31	CP I	9	479,5275	53,280831	3,14501		
54,09	47,06	CP II	9	422,7665	46,974051	0,484396		
51,95	46,91	<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>
51,92	46,50	Entre grupos	178,989627	1	178,98963	98,63302	3,023E-08	4,49399806
51,18	46,09	Dentro dos grupos	29,0352471	16	1,8147029			
50,83	45,89	Total	208,024875	17				

**Tabela 41 – Análise de variância para o traço 1:1, com 2% de madeira e com aditivo**

CP I	CP II	Traço 1:1						
58,21	50,42	2% madeira						
58,06	50,22	Com aditivo						
58,03	50,17	<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
58,01	50,09	CP I	9	520,2966	57,810734	0,127872		
57,91	49,91	CP II	9	449,3008	49,922308	0,097286		
57,83	49,66	<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>
57,70	49,63	Entre grupos	280,022718	1	280,02272	2487,342	5,484E-19	4,49399806
57,50	49,61	Dentro dos grupos	1,8012655	16	0,1125791			
57,04	49,61	Total	281,823983	17				

**Tabela 42 – Análise de variância para o traço 1:2, com 5% de madeira e sem aditivo**

CP I	CP II	Traço 1:2						
40,18	36,41	5% madeira						
39,73	35,29	Sem aditivo						
		Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
39,44	35,19	CP I	9	335,0912	37,232354	20,12862		
39,22	34,78	CP II	9	308,0221	34,224679	3,316364		
		Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
39,19	34,66	Entre grupos	40,7074836	1	40,707484	3,472596	0,0808523	4,49399806
38,81	34,33	Dentro dos grupos	187,559869	16	11,722492			
31,58	31,32	Total	228,267352	17				
27,53	31,04							

**Tabela 43 – Análise de variância para o traço 1:2, com 3,5% de madeira e sem aditivo**

CP I	CP II	Traço 1:2						
42,68	36,77	3,5% madeira						
42,04	36,67	Sem aditivo						
		Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
41,92	36,62	CP I	9	372,0915	41,343503	0,647987		
41,63	36,41	CP II	9	326,5859	36,287327	0,137959		
		Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
40,77	36,13	Entre grupos	115,042108	1	115,04211	292,7481	1,046E-11	4,49399806
40,67	36,06	Dentro dos grupos	6,28756941	16	0,3929731			
40,59	35,91	Total	121,329678	17				
40,29	35,68							

**Tabela 44 – Análise de variância para o traço 1:2, com 2% de madeira e sem aditivo**

CP I	CP II	Traço 1:2						
43,44	37,69	2% madeira						
43,39	37,59	Sem aditivo						
		Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
43,29	37,46	CP I	9	382,4302	42,492248	1,011104		
43,19	36,67	CP II	9	329,5399	36,61554	0,616915		
		Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
43,16	36,36	Entre grupos	155,41063	1	155,41063	190,9198	2,601E-10	4,49399806
41,92	36,29	Dentro dos grupos	13,0241583	16	0,8140099			
41,76	36,08	Total	168,434788	17				
41,51	35,75							
40,77	35,65							

**Tabela 45 – Análise de variância para o traço 1:2, com 5% de madeira e com aditivo**

CP I	CP II	Traço 1:2						
49,40	44,77	5% madeira						
49,17	44,67	Com aditivo						
48,99	44,41	<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
48,74	44,33	CP I	9	434,5312	48,281244	2,219177		
48,64	44,21	CP II	9	396,003	44,000329	0,828312		
48,61	44,05	<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>
48,54	44,03	Entre grupos	82,468023	1	82,468023	54,12195	1,617E-06	4,49399806
47,98	43,82	Dentro dos grupos	24,3799124	16	1,5237445			
44,46	41,71	Total	106,847935	17				

**Tabela 46 – Análise de variância para o traço 1:2, com 3,5% de madeira e com aditivo**

CP I	CP II	Traço 1:2						
50,27	44,97	3,5% madeira						
50,17	44,92	Com aditivo						
50,09	44,77	<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
50,06	44,56	CP I	9	449,6318	49,959091	0,05438		
50,04	44,26	CP II	9	399,5171	44,39079	0,185746		
49,91	44,23	<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>
49,89	44,05	Entre grupos	139,52689	1	139,52689	1162,111	2,287E-16	4,49399806
49,66	43,95	Dentro dos grupos	1,92101363	16	0,1200634			
49,55	43,80	Total	141,447904	17				

**Tabela 47 – Análise de variância para o traço 1:2, com 2% de madeira e com aditivo**

CP I	CP II	Traço 1:2						
52,51	45,63	2% madeira						
52,41	45,53	Com aditivo						
52,23	45,40	<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
52,13	45,35	CP I	9	466,2094	51,801044	0,371205		
52,00	44,92	CP II	9	404,8647	44,984968	0,265398		
51,80	44,79	<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>
51,26	44,61	Entre grupos	209,064997	1	209,065	656,8141	2,03E-14	4,49399806
51,01	44,33	Dentro dos grupos	5,09282603	16	0,3183016			
50,88	44,28	Total	214,157823	17				

**Tabela 48 – Análise de variância para o traço 1:3, com 5% de madeira e sem aditivo**

CP I	CP II	Traço 1:3						
37,54	35,70	5% madeira						
37,43	35,68	Sem aditivo						
36,87	35,55	<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
36,62	35,50	CP I	9	303,2347	33,692748	32,82019		
36,21	35,27	CP II	9	293,278	32,586444	30,77522		
35,83	34,99	<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>
35,40	34,91	Entre grupos	5,50758543	1	5,5075854	0,173207	0,6828062	4,49399806
24,12	23,68	Dentro dos grupos	508,763262	16	31,797704			
23,22	22,00	Total	514,270848	17				

**Tabela 49 – Análise de variância para o traço 1:3, com 3,5% de madeira e sem aditivo**

CP I	CP II	Traço 1:3						
40,44	36,06	3,5% madeira						
40,23	35,63	Sem aditivo						
40,01	35,55	<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
39,78	35,24	CP I	9	348,5621	38,729118	7,225975		
39,47	34,86	CP II	9	314,4138	34,934864	0,52062		
39,24	34,58	<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>
39,01	34,33	Entre grupos	64,7836306	1	64,783631	16,72571	0,0008548	4,49399806
38,66	34,15	Dentro dos grupos	61,9727558	16	3,8732972			
31,73	34,02	Total	126,756386	17				

**Tabela 50 – Análise de variância para o traço 1:3, com 2% de madeira e sem aditivo**

CP I	CP II	Traço 1:3						
41,25	36,26	2% madeira						
41,02	36,16	Sem aditivo						
40,82	35,35	<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
40,44	34,96	CP I	9	363,9937	40,443747	0,315113		
40,36	34,73	CP II	9	306,7743	34,086037	8,716882		
40,34	34,38	<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>
40,26	34,25	Entre grupos	181,892115	1	181,89211	40,27728	9,702E-06	4,49399806
40,18	34,20	Dentro dos grupos	72,2559644	16	4,5159978			
39,32	26,48	Total	254,148079	17				

**Tabela 51 – Análise de variância para o traço 1:3, com 5% de madeira e com aditivo**

CP I	CP II	Traço 1:3						
46,45	43,44	5% madeira						
46,35	43,34	Com aditivo						
46,09	43,24	<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
46,01	43,21	CP I	9	412,3004	45,811159	0,28224		
45,91	42,93	CP II	9	387,0648	43,007203	0,092963		
45,79	42,83	<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>
45,76	42,73	Entre grupos	35,3797725	1	35,379773	188,5897	2,849E-10	4,49399806
45,07	42,68	Dentro dos grupos	3,00162883	16	0,1876018			
44,87	42,65	Total	38,3814014	17				

**Tabela 52 – Análise de variância para o traço 1:3, com 3,5% de madeira e com aditivo**

CP I	CP II	Traço 1:3						
48,43	43,95	3,5% madeira						
48,38	43,88	Com aditivo						
48,00	43,70	<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
47,72	43,34	CP I	9	426,9936	47,443735	0,603136		
47,42	43,14	CP II	9	387,3704	43,041156	0,659768		
47,29	42,81	<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>
47,03	42,60	Entre grupos	87,2221751	1	87,222175	138,1296	2,78E-09	4,49399806
46,47	42,58	Dentro dos grupos	10,1032262	16	0,6314516			
46,24	41,38	Total	97,3254012	17				

**Tabela 53 – Análise de variância para o traço 1:3, com 2% de madeira e com aditivo**

CP I	CP II	Traço 1:3						
51,34	44,87	2% madeira						
50,90	44,84	Com aditivo						
50,80	44,77	<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
50,57	44,51	CP I	9	453,8335	50,425945	0,309764		
50,50	44,41	CP II	9	399,6699	44,407766	0,158457		
50,27	44,33	<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>
50,09	44,13	Entre grupos	162,98315	1	162,98315	696,1805	1,287E-14	4,49399806
49,73	44,16	Dentro dos grupos	3,74576764	16	0,2341105			
49,63	43,65	Total	166,728918	17				

## **ANEXO D – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TRAÇO**

**Tabela 54 – Análise de variância para o cimento CP I, com 5% de madeira, para os traços 1:1, 1:2 e 1:3 sem aditivo**

1:1	1:2	1:3	5% resíduo	sem adit.	CP I			
			<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	
42,98	40,18	37,54						
42,78	39,73	37,43	Traço 1:1	9	364,85953	40,539947	5,7600688	
42,73	39,44	36,87	Traço 1:2	9	335,09118	37,232354	20,12862	
42,53	39,42	36,62	Traço 1:3	9	303,23473	33,692748	32,820192	
40,64	39,22	36,21	<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>
39,62	39,19	35,83	Entre grupos	211,05937	2	105,52969	5,3925241	0,0116365
39,09	38,81	35,40	Dentro dos grupos	469,67105	24	19,569627		3,4028318
38,15	31,58	24,12						
36,34	27,53	23,22	Total	680,73042	26			

**Tabela 55 – Análise de variância para o cimento CP I, com 3,5% de madeira, para os traços 1:1, 1:2 e 1:3 sem aditivo**

1:1	1:2	1:3	3,5% resíduo	sem adit.	CP I			
			<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	
44,56	42,68	40,44						
44,36	42,04	40,23	Traço 1:1	9	388,97468	43,219409	3,004745	
44,33	41,92	40,01	Traço 1:2	9	372,09153	41,343503	0,6479873	
44,26	41,63	39,78	Traço 1:3	9	348,56206	38,729118	7,2259747	
44,18	41,51	39,47	<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>
43,57	40,77	39,24	Entre grupos	91,550256	2	45,775128	12,623319	0,0001795
42,78	40,67	39,01	Dentro dos grupos	87,029656	24	3,6262357		3,4028318
41,51	40,59	38,66						
39,42	40,29	31,73	Total	178,57991	26			

**Tabela 56 – Análise de variância para o cimento CP I, com 2% de madeira, para os traços 1:1, 1:2 e 1:3 sem aditivo**

1:1	1:2	1:3	2% resíduo	sem adit.	CP I			
			<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	
47,06	43,44	41,25						
46,96	43,39	41,02	Traço 1:1	9	416,55305	46,283672	0,2496734	
46,42	43,29	40,82	Traço 1:2	9	382,43023	42,492248	1,0111044	
46,35	43,19	40,44	Traço 1:3	9	363,99372	40,443747	0,3151134	
46,29	43,16	40,36	<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>
46,24	41,92	40,34	Entre grupos	158,02795	2	79,013976	150,4177	2,646E-14
45,86	41,76	40,26	Dentro dos grupos	12,607129	24	0,5252971		3,4028318
45,79	41,51	40,18						
45,58	40,77	39,32	Total	170,63508	26			

**Tabela 57 – Análise de variância para o cimento CP I, com 5% de madeira, para os traços 1:1, 1:2 e 1:3 com aditivo**

1:1	1:2	1:3	5% resíduo	com adit.	CP I			
			<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	
<b>52,97</b>	<b>49,40</b>	<b>46,45</b>						
<b>51,44</b>	<b>49,17</b>	<b>46,35</b>	Traço 1:1	9	438,88567	48,765075	21,269829	
<b>50,96</b>	<b>48,99</b>	<b>46,09</b>	Traço 1:2	9	434,53119	48,281244	2,2191771	
<b>50,85</b>	<b>48,74</b>	<b>46,01</b>	Traço 1:3	9	412,30043	45,811159	0,2822403	
<b>50,67</b>	<b>48,64</b>	<b>45,91</b>	<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>
<b>50,42</b>	<b>48,61</b>	<b>45,79</b>	Entre grupos	45,183088	2	22,591544	<b>2,8511181</b>	0,0774578 3,4028318
<b>49,96</b>	<b>48,54</b>	<b>45,76</b>	Dentro dos grupos	190,16997	24	7,9237489		
<b>41,74</b>	<b>47,98</b>	<b>45,07</b>						
<b>39,88</b>	<b>44,46</b>	<b>44,87</b>	Total	235,35306	26			

**Tabela 58 – Análise de variância para o cimento CP I, com 3,5% de madeira, para os traços 1:1, 1:2 e 1:3 com aditivo**

1:1	1:2	1:3	3,5% resíduo	com adit.	CP I			
			<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	
<b>55,11</b>	<b>50,27</b>	<b>48,43</b>						
<b>55,00</b>	<b>50,17</b>	<b>48,38</b>	Traço 1:1	9	479,52748	53,280831	3,1450096	
<b>54,80</b>	<b>50,09</b>	<b>48,00</b>	Traço 1:2	9	449,63181	49,959091	0,0543802	
<b>54,65</b>	<b>50,06</b>	<b>47,72</b>	Traço 1:3	9	426,99362	47,443735	0,6031357	
<b>54,09</b>	<b>50,04</b>	<b>47,42</b>	<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>
<b>51,95</b>	<b>49,91</b>	<b>47,29</b>	Entre grupos	154,29799	2	77,148994	60,866648	3,98E-10 3,4028318
<b>51,92</b>	<b>49,89</b>	<b>47,03</b>	Dentro dos grupos	30,420204	24	1,2675085		
<b>51,18</b>	<b>49,66</b>	<b>46,47</b>						
<b>50,83</b>	<b>49,55</b>	<b>46,24</b>	Total	184,71819	26			

**Tabela 59 – Análise de variância para o cimento CP I, com 2% de madeira, para os traços 1:1, 1:2 e 1:3 com aditivo**

1:1	1:2	1:3	2% resíduo	com adit.	CP I			
			<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	
<b>58,21</b>	<b>52,51</b>	<b>51,34</b>						
<b>58,06</b>	<b>52,41</b>	<b>50,90</b>	Traço 1:1	9	520,29661	57,810734	0,1278718	
<b>58,03</b>	<b>52,23</b>	<b>50,80</b>	Traço 1:2	9	466,20939	51,801044	0,3712048	
<b>58,01</b>	<b>52,13</b>	<b>50,57</b>	Traço 1:3	9	453,83351	50,425945	0,3097636	
<b>57,91</b>	<b>52,00</b>	<b>50,50</b>	<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>
<b>57,83</b>	<b>51,80</b>	<b>50,27</b>	Entre grupos	277,62718	2	138,81359	514,86157	1,949E-20 3,4028318
<b>57,70</b>	<b>51,26</b>	<b>50,09</b>	Dentro dos grupos	6,4707221	24	0,2696134		
<b>57,50</b>	<b>51,01</b>	<b>49,73</b>						
<b>57,04</b>	<b>50,88</b>	<b>49,63</b>	Total	284,0979	26			



**Tabela 60 – Análise de variância para o cimento CP II, com 5% de madeira, para os traços 1:1, 1:2 e 1:3 sem aditivo**

1:1	1:2	1:3	5% resíduo	sem adit.	CP II			
			<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	
<b>37,28</b>	<b>36,41</b>	<b>35,70</b>						
<b>37,13</b>	<b>35,29</b>	<b>35,68</b>	Traço 1:1	9	308,20037	34,244485	8,0567003	
<b>36,92</b>	<b>35,19</b>	<b>35,55</b>	Traço 1:2	9	308,02211	34,224679	3,316364	
<b>35,96</b>	<b>34,99</b>	<b>35,50</b>	Traço 1:3	9	293,278	32,586444	30,775216	
<b>34,99</b>	<b>34,78</b>	<b>35,27</b>	<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>
<b>33,26</b>	<b>34,66</b>	<b>34,99</b>	Entre grupos	16,299916	2	8,1499579	<b>0,5800918</b>	0,5675044 3,4028318
<b>31,65</b>	<b>34,33</b>	<b>34,91</b>	Dentro dos grupos	337,18624	24	14,049427		
<b>31,07</b>	<b>31,32</b>	<b>23,68</b>						
<b>29,95</b>	<b>31,04</b>	<b>22,00</b>	Total	353,48615	26			

**Tabela 61 – Análise de variância para o cimento CP II, com 3,5% de madeira, para os traços 1:1, 1:2 e 1:3 sem aditivo**

1:1	1:2	1:3	3,5% resíduo	sem adit.	CP II			
			<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	
<b>40,59</b>	<b>36,77</b>	<b>36,06</b>						
<b>40,23</b>	<b>36,67</b>	<b>35,63</b>	Traço 1:1	9	351,134	39,014889	1,1851246	
<b>39,50</b>	<b>36,62</b>	<b>35,55</b>	Traço 1:2	9	326,58594	36,287327	0,1379589	
<b>39,27</b>	<b>36,41</b>	<b>35,24</b>	Traço 1:3	9	314,41377	34,934864	0,5206198	
<b>39,11</b>	<b>36,34</b>	<b>34,86</b>	<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>
<b>38,86</b>	<b>36,13</b>	<b>34,58</b>	Entre grupos	77,746078	2	38,873039	63,252648	2,703E-10 3,4028318
<b>38,71</b>	<b>36,06</b>	<b>34,33</b>	Dentro dos grupos	14,749627	24	0,6145678		
<b>37,64</b>	<b>35,91</b>	<b>34,15</b>						
<b>37,23</b>	<b>35,68</b>	<b>34,02</b>	Total	92,495704	26			

**Tabela 62 – Análise de variância para o cimento CP II, com 2% de madeira, para os traços 1:1, 1:2 e 1:3 sem aditivo**

1:1	1:2	1:3	2% resíduo	sem adit.	CP II			
			<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	
<b>41,71</b>	<b>37,69</b>	<b>36,26</b>						
<b>41,51</b>	<b>37,59</b>	<b>36,16</b>	Traço 1:1	9	371,022	41,224667	0,0722127	
<b>41,35</b>	<b>37,46</b>	<b>35,35</b>	Traço 1:2	9	329,53986	36,61554	0,6169154	
<b>41,30</b>	<b>36,67</b>	<b>34,96</b>	Traço 1:3	9	306,77434	34,086037	8,7168822	
<b>41,15</b>	<b>36,36</b>	<b>34,73</b>	<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>
<b>41,13</b>	<b>36,29</b>	<b>34,38</b>	Entre grupos	235,80741	2	117,90371	37,604798	4,017E-08 3,4028318
<b>41,00</b>	<b>36,08</b>	<b>34,25</b>	Dentro dos grupos	75,248083	24	3,1353368		
<b>40,97</b>	<b>35,75</b>	<b>34,20</b>						
<b>40,90</b>	<b>35,65</b>	<b>26,48</b>	Total	311,0555	26			

**Tabela 63 – Análise de variância para o cimento CP II, com 5% de madeira, para os traços 1:1, 1:2 e 1:3 com aditivo**

1:1	1:2	1:3	5% resíduo	com adit.	CP II			
			<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	
49,91	44,77	43,44						
49,78	44,67	43,34	Traço 1:1	9	422,10438	46,900486	15,747546	
49,61	44,41	43,24	Traço 1:2	9	396,00296	44,000329	0,8283119	
49,40	44,33	43,21	Traço 1:3	9	387,06482	43,007203	0,0929633	
49,20	44,21	42,93	<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>
49,15	44,05	42,83	Entre grupos	73,664602	2	36,832301	6,6289574	0,005104
43,04	44,03	42,73	Dentro dos grupos	133,35057	24	5,5562736		3,4028318
41,46	43,82	42,68						
40,57	41,71	42,65	Total	207,01517	26			

**Tabela 64 – Análise de variância para o cimento CP II, com 3,5% de madeira, para os traços 1:1, 1:2 e 1:3 com aditivo**

1:1	1:2	1:3	3,5% resíduo	com adit.	CP II			
			<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	
47,92	44,97	43,95						
47,62	44,92	43,88	Traço 1:1	9	422,76646	46,974051	0,4843963	
47,47	44,77	43,70	Traço 1:2	9	399,51711	44,39079	0,1857465	
47,31	44,56	43,34	Traço 1:3	9	387,3704	43,041156	0,6597675	
47,06	44,26	43,14	<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>
46,91	44,23	42,81	Entre grupos	71,887257	2	35,943629	81,08132	2,108E-11
46,50	44,05	42,60	Dentro dos grupos	10,639283	24	0,4433034		3,4028318
46,09	43,95	42,58						
45,89	43,80	41,38	Total	82,52654	26			

**Tabela 65 – Análise de variância para o cimento CP II, com 2% de madeira, para os traços 1:1, 1:2 e 1:3 com aditivo**

1:1	1:2	1:3	2% resíduo	com adit.	CP II			
			<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	
50,42	45,63	44,87						
50,22	45,53	44,84	Traço 1:1	9	449,30077	49,922308	0,0972863	
50,17	45,40	44,77	Traço 1:2	9	404,86471	44,984968	0,2653985	
50,09	45,35	44,51	Traço 1:3	9	399,66989	44,407766	0,1584573	
49,91	44,92	44,41	<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>
49,66	44,79	44,33	Entre grupos	165,36199	2	82,680993	475,96032	4,893E-20
49,63	44,61	44,13	Dentro dos grupos	4,1691371	24	0,173714		3,4028318
49,61	44,33	44,16						
49,61	44,28	43,65	Total	169,53112	26			

**ANEXO E – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TEOR DE MADEIRA**

**Tabela 66 – Análise de variância para o cimento CP II, com 2%, 3,5% e 5% de madeira, para o traço 1:1 sem aditivo**

1:1	s/a	cp I							
5%	3,50%	2%							
42,98	44,56	47,06	<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
42,78	44,36	46,96	Coluna 1	9	364,86	40,5399	5,76007		
42,73	44,33	46,42	Coluna 2	9	388,975	43,2194	3,00475		
42,53	44,26	46,35	Coluna 3	9	416,553	46,2837	0,24967		
40,64	44,18	46,29	<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>
39,62	43,57	46,24	Entre grupos	148,67881	2	74,3394	24,74	1,5E-06	3,40283
39,09	42,78	45,86	Dentro dos grupos	72,115898	24	3,00483			
38,15	41,51	45,79							
36,34	39,42	45,58	Total	220,79471	26				

**Tabela 67 – Análise de variância para o cimento CP I, com 2%, 3,5% e 5% de madeira, para o traço 1:1 com aditivo**

1:1	c/a	cp I							
5%	3,50%	2%							
52,97	55,11	58,21	<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
51,44	55,00	58,06	Coluna 1	9	438,886	48,7651	21,2698		
50,96	54,80	58,03	Coluna 2	9	479,527	53,2808	3,14501		
50,85	54,65	58,01	Coluna 3	9	520,297	57,8107	0,12787		
50,67	54,09	57,91	<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>
50,42	51,95	57,83	Entre grupos	368,20811	2	184,104	22,5041	3,1E-06	3,40283
49,96	51,92	57,70	Dentro dos grupos	196,34169	24	8,1809			
41,74	51,18	57,50							
39,88	50,83	57,04	Total	564,5498	26				

**Tabela 68 – Análise de variância para o cimento CP II, com 2%, 3,5% e 5% de madeira, para o traço 1:1 sem aditivo**

1:1	s/a	cp II							
5%	3,50%	2%							
37,28	40,59	41,71	<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
37,13	40,23	41,51	Coluna 1	9	308,2	34,2445	8,0567		
36,92	39,50	41,35	Coluna 2	9	351,134	39,0149	1,18512		
35,96	39,27	41,30	Coluna 3	9	371,022	41,2247	0,07221		
34,99	39,11	41,15	<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>
33,26	38,86	41,13	Entre grupos	229,08845	2	114,544	36,8941	4,8E-08	3,40283
31,65	38,71	41,00	Dentro dos grupos	74,512302	24	3,10468			
31,07	37,64	40,97							
29,95	37,23	40,90	Total	303,60075	26				

**Tabela 69 – Análise de variância para o cimento CP II, com 2%, 3,5% e 5% de madeira, para o traço 1:1 com aditivo**

1:1	c/a	cp II							
5%	3,50%	2%							
49,91	47,92	50,42	<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
49,78	47,62	50,22	Coluna 1	9	422,104	46,9005	15,7475		
49,61	47,47	50,17	Coluna 2	9	422,766	46,9741	0,4844		
49,40	47,31	50,09	Coluna 3	9	449,301	49,9223	0,09729		
49,20	47,06	49,91	<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>
49,15	46,91	49,66	Entre grupos	53,487114	2	26,7436	4,91332	0,01627	3,40283
43,04	46,50	49,63	Dentro dos grupos	130,63383	24	5,44308			
41,46	46,09	49,61							
40,57	45,89	49,61	Total	184,12094	26				

**Tabela 70 – Análise de variância para o cimento CP I, com 2%, 3,5% e 5% de madeira, para o traço 1:2 sem aditivo**

1:2	s/a	cp I							
5%	3,50%	2%							
40,18	42,68	43,44	<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
39,73	42,04	43,39	Coluna 1	9	335,091	37,2324	20,1286		
39,44	41,92	43,29	Coluna 2	9	372,092	41,3435	0,64799		
39,42	41,63	43,19	Coluna 3	9	382,43	42,4922	1,0111		
39,22	41,51	43,16	<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>
39,19	40,77	41,92	Entre grupos	137,66294	2	68,8315	9,47756	0,00093	3,40283
38,81	40,67	41,76	Dentro dos grupos	174,30169	24	7,26257			
31,58	40,59	41,51							
27,53	40,29	40,77	Total	311,96463	26				

**Tabela 71 – Análise de variância para o cimento CP I, com 2%, 3,5% e 5% de madeira, para o traço 1:2 com aditivo**

1:2	c/a	cp I							
5%	3,50%	2%							
49,40	50,27	52,51	<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
49,17	50,17	52,41	Coluna 1	9	434,531	48,2812	2,21918		
48,99	50,09	52,23	Coluna 2	9	449,632	49,9591	0,05438		
48,74	50,06	52,13	Coluna 3	9	466,209	51,801	0,3712		
48,64	50,04	52,00	<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>
48,61	49,91	51,80	Entre grupos	55,790861	2	27,8954	31,6423	1,9E-07	3,40283
48,54	49,89	51,26	Dentro dos grupos	21,158097	24	0,88159			
47,98	49,66	51,01							
44,46	49,55	50,88	Total	76,948957	26				

**Tabela 72 – Análise de variância para o cimento CP II, com 2%, 3,5% e 5% de madeira, para o traço 1:2 sem aditivo**

1:2	s/a	cp II							
5%	3,50%	2%							
36,41	36,77	37,69	<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
35,29	36,67	37,59	Coluna 1	9	308,022	34,2247	3,31636		
35,19	36,62	37,46	Coluna 2	9	326,586	36,2873	0,13796		
34,99	36,41	36,67	Coluna 3	9	329,54	36,6155	0,61692		
34,78	36,34	36,36	<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>
34,66	36,13	36,29	Entre grupos	30,23537	2	15,1177	11,1399	0,00038	3,40283
34,33	36,06	36,08	Dentro dos grupos	32,569906	24	1,35708			
31,32	35,91	35,75							
31,04	35,68	35,65	Total	62,805277	26				

**Tabela 73 – Análise de variância para o cimento CP II, com 2%, 3,5% e 5% de madeira, para o traço 1:2 com aditivo**

1:2	c/a	cp II							
5%	3,50%	2%							
44,77	44,97	45,63	<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
44,67	44,92	45,53	Coluna 1	9	396,003	44,0003	0,82831		
44,41	44,77	45,40	Coluna 2	9	399,517	44,3908	0,18575		
44,33	44,56	45,35	Coluna 3	9	404,865	44,985	0,2654		
44,21	44,26	44,92	<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>
44,05	44,23	44,79	Entre grupos	4,4250609	2	2,21253	5,18782	0,01341	3,40283
44,03	44,05	44,61	Dentro dos grupos	10,235655	24	0,42649			
43,82	43,95	44,33							
41,71	43,80	44,28	Total	14,660716	26				

**Tabela 74 – Análise de variância para o cimento CP I, com 2%, 3,5% e 5% de madeira, para o traço 1:3 sem aditivo**

1:3	s/a	cp I							
5%	3,50%	2%							
37,54	40,44	41,25	<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
37,43	40,23	41,02	Coluna 1	9	303,235	33,6927	32,8202		
36,87	40,01	40,82	Coluna 2	9	348,562	38,7291	7,22597		
36,62	39,78	40,44	Coluna 3	9	363,994	40,4437	0,31511		
36,21	39,47	40,36	<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>
35,83	39,24	40,34	Entre grupos	221,64289	2	110,821	8,23721	0,00189	3,40283
35,40	39,01	40,26	Dentro dos grupos	322,89024	24	13,4538			
24,12	38,66	40,18							
23,22	31,73	39,32	Total	544,53313	26				

**Tabela 75 – Análise de variância para o cimento CP I, com 2%, 3,5% e 5% de madeira, para o traço 1:3 com aditivo**

1:3	c/a	cp I							
5%	3,50%	2%							
46,45	48,43	51,34	<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
46,35	48,38	50,90	Coluna 1	9	412,3	45,8112	0,28224		
46,09	48,00	50,80	Coluna 2	9	426,994	47,4437	0,60314		
46,01	47,72	50,57	Coluna 3	9	453,834	50,4259	0,30976		
45,91	47,42	50,50	<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>
45,79	47,29	50,27	Entre grupos	98,565392	2	49,2827	123,708	2,3E-13	3,40283
45,76	47,03	50,09	Dentro dos grupos	9,5611173	24	0,39838			
45,07	46,47	49,73							
44,87	46,24	49,63	Total	108,12651	26				

**Tabela 76 – Análise de variância para o cimento CP II, com 2%, 3,5% e 5% de madeira, para o traço 1:3 sem aditivo**

1:3	s/a	cp II							
5%	3,50%	2%							
35,70	36,06	36,26	<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
35,68	35,63	36,16	Coluna 1	9	293,278	32,5864	30,7752		
35,55	35,55	35,35	Coluna 2	9	314,414	34,9349	0,52062		
35,50	35,24	34,96	Coluna 3	9	306,774	34,086	8,71688		
35,27	34,86	34,73	<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>
34,99	34,58	34,38	Entre grupos	25,453082	2	12,7265	0,95419	0,39926	3,40283
34,91	34,33	34,25	Dentro dos grupos	320,10174	24	13,3376			
23,68	34,15	34,20							
22,00	34,02	26,48	Total	345,55482	26				

**Tabela 77 – Análise de variância para o cimento CP II, com 2%, 3,5% e 5% de madeira, para o traço 1:3 com aditivo**

1:3	c/a	cp II							
5%	3,50%	2%							
43,44	43,95	44,87	<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
43,34	43,88	44,84	Coluna 1	9	387,065	43,0072	0,09296		
43,24	43,70	44,77	Coluna 2	9	387,37	43,0412	0,65977		
43,21	43,34	44,51	Coluna 3	9	399,67	44,4078	0,15846		
42,93	43,14	44,41	<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>
42,83	42,81	44,33	Entre grupos	11,491065	2	5,74553	18,9166	1,2E-05	3,40283
42,73	42,60	44,13	Dentro dos grupos	7,2895053	24	0,30373			
42,68	42,58	44,16							
42,65	41,38	43,65	Total	18,780571	26				

## **ANEXO F – ESTUDO DA DISPERSÃO DOS DADOS OBTIDOS**

Tabela 78 – Análise de dispersão CPI e CP II, traço 1:1 5% de madeira

Tensões de ruptura (MPa) traço 1:1, com 5% de madeira							
CPI				CP II			
s/ ad		c/ ad		s/ ad		c/ ad	
42,9846		52,9668		37,2805		49,9110	
42,7808		51,4389		37,1277		49,7837	
42,7299		50,9550		36,9239		49,6054	
42,5262		50,8532		35,9563		49,4017	
40,6418		50,6749		34,9886		49,1980	
39,6232		50,4203		33,2570		49,1470	
39,0885		49,9619		31,6527		43,0355	
38,1463		41,7368		31,0670		41,4567	
36,3383		39,8779		29,9466		40,5654	
Média =	40,5399	Média =	48,7651	Média =	34,2445	Média =	46,9005
Máximo =	42,9846	Máximo =	52,9668	Máximo =	37,2805	Máximo =	49,9110
Mínimo =	36,3383	Mínimo =	39,8779	Mínimo =	29,9466	Mínimo =	40,5654
Méd / Máx =	2,4446	Méd / Máx =	4,2017	Méd / Máx =	3,0360	Méd / Máx =	3,0105
Mín / Méd =	4,2017	Mín / Méd =	8,8872	Mín / Méd =	4,2979	Mín / Méd =	6,3351
Máx / Mín =	6,6463	Máx / Mín =	13,0889	Máx / Mín =	7,3339	Máx / Mín =	9,3456
Dispersão >8%		Dispersão >8%		Dispersão >8%		Dispersão >8%	

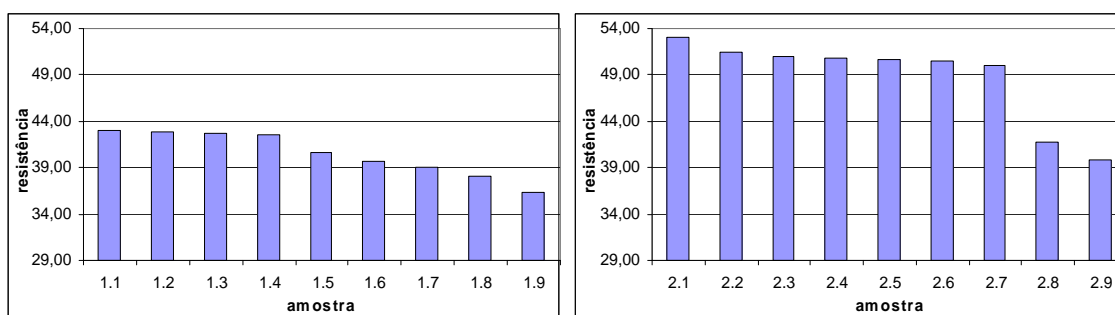


Figura 37 – Dispersão dos resultados de resistência à compressão para o traço 1:1 com 5% de madeira, com cimento CP I, sem aditivo e com aditivo respectivamente

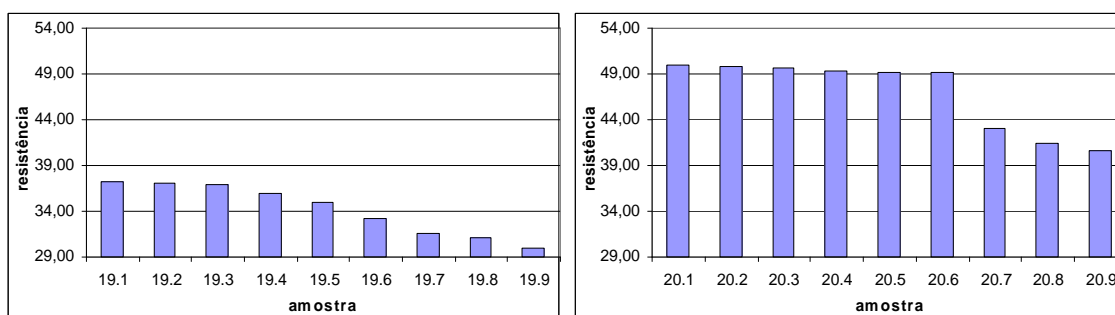


Figura 38 – Dispersão dos resultados de resistência à compressão para o traço 1:1 com 5% de madeira, com cimento CP II, sem aditivo e com aditivo respectivamente



Tabela 79 – Análise de dispersão CPI e CP II, traço 1:1 3,5% de madeira

Tensões de ruptura (MPa) traço 1:1, com 3,5% de madeira							
CP I				CP II			
s/ ad		c/ ad		s/ ad		c/ ad	
44,5634		55,1058		40,5909		47,9247	
44,3597		55,0039		40,2344		47,6192	
44,3342		54,8002		39,4959		47,4664	
44,2578		54,6474		39,2667		47,3136	
44,1814		54,0872		39,1139		47,0589	
43,5703		51,9482		38,8593		46,9061	
42,7808		51,9227		38,7065		46,4987	
41,5076		51,1842		37,6370		46,0913	
39,4195		50,8277		37,2295		45,8876	
Média =		Média =		Média =		Média =	
Máximo =	44,5634	Máximo =	55,1058	Máximo =	40,5909	Máximo =	47,9247
Mínimo =	39,4195	Mínimo =	50,8277	Mínimo =	37,2295	Mínimo =	45,8876
Méd / Máx =	44,5634	Méd / Máx =	55,1058	Méd / Máx =	40,5909	Méd / Máx =	47,9247
Mín / Méd =	-39,4195	Mín / Méd =	-50,8277	Mín / Méd =	-37,2295	Mín / Méd =	-45,8876
Máx / Mín =	5,1439	Máx / Mín =	4,2781	Máx / Mín =	3,3614	Máx / Mín =	2,0372
Dispersão >8%		Dispersão >8%		Dispersão >8%		Dispersão <8%	

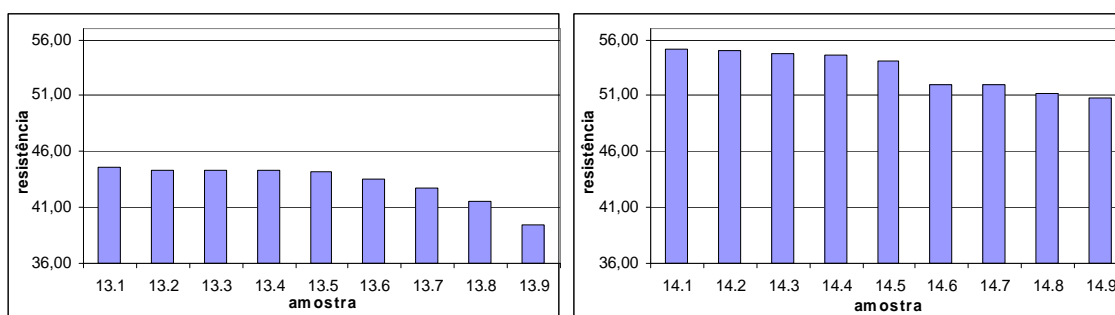


Figura 39 – Dispersão dos resultados de resistência à compressão para o traço 1:1 com 3,5% de madeira, com cimento CP I, sem aditivo e com aditivo respectivamente

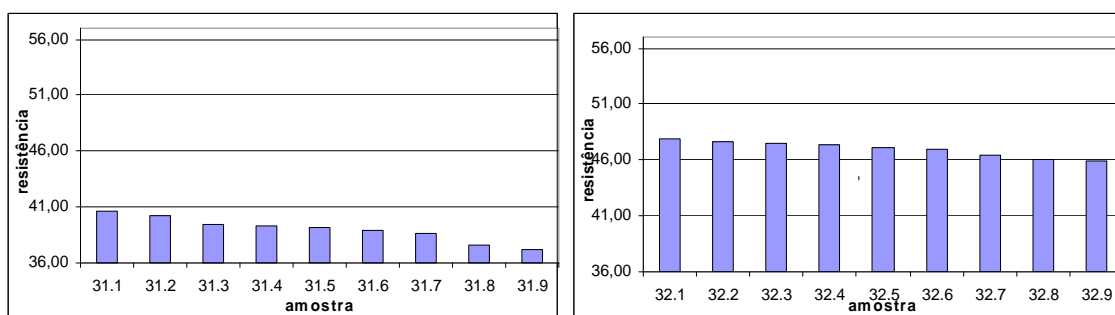


Figura 40 – Dispersão dos resultados de resistência à compressão para o traço 1:1 com 3,5% de madeira, com cimento CP II, sem aditivo e com aditivo respectivamente

Tabela 80 – Análise de dispersão CPI e CP II, traço 1:1 2% de madeira

Tensões de ruptura (MPa) traço 1:1, com 2% de madeira							
CP I				CP II			
s/ ad		c/ ad		s/ ad		c/ ad	
47,0589		58,2125		41,7113		50,4203	
46,9571		58,0597		41,5076		50,2166	
46,4223		58,0343		41,3548		50,1656	
46,3459		58,0088		41,3039		50,0892	
46,2950		57,9069		41,1511		49,9110	
46,2441		57,8305		41,1256		49,6563	
45,8621		57,7032		40,9983		49,6309	
45,7857		57,4995		40,9728		49,6054	
45,5820		57,0411		40,8965		49,6054	
Média =	46,2837	Média =	57,8107	Média =	41,2247	Média =	49,9223
Máximo =	47,0589	Máximo =	58,2125	Máximo =	41,7113	Máximo =	50,4203
Mínimo =	45,5820	Mínimo =	57,0411	Mínimo =	40,8965	Mínimo =	49,6054
Méd / Máx =	0,7753	Méd / Máx =	0,4018	Méd / Máx =	0,4867	Méd / Máx =	0,4980
Mín / Méd =	0,7017	Mín / Méd =	0,7696	Mín / Méd =	0,3282	Mín / Méd =	0,3169
Máx / Mín =	1,4770	Máx / Mín =	1,1714	Máx / Mín =	0,8149	Máx / Mín =	0,8149
Dispersão <8%		Dispersão <8%		Dispersão <8%		Dispersão <8%	

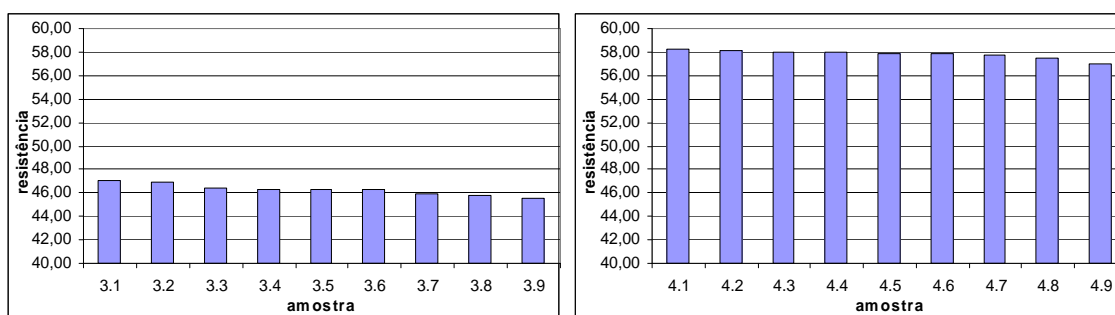


Figura 41 – Dispersão dos resultados de resistência à compressão para o traço 1:1 com 2% de madeira, com cimento CP I, sem aditivo e com aditivo respectivamente

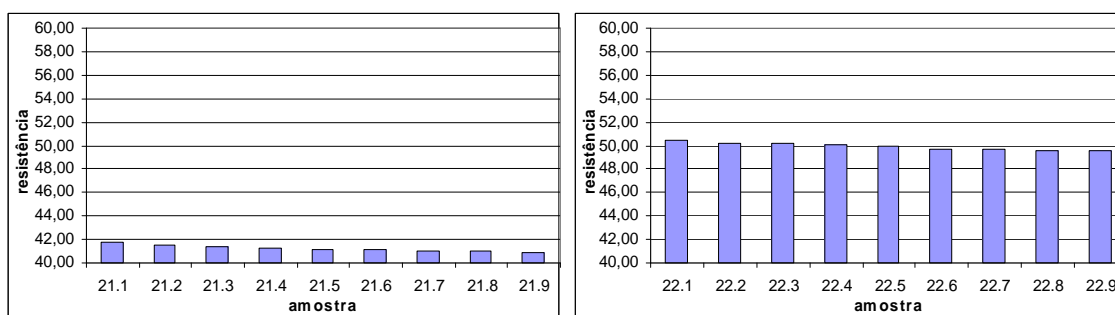


Figura 42 – Dispersão dos resultados de resistência à compressão para o traço 1:1 com 2% de madeira, com cimento CP II, sem aditivo e com aditivo respectivamente

Tabela 81 – Análise de dispersão CPI e CP II, traço 1:2 5% de madeira

Tensões de ruptura (MPa) traço 1:2, com 5% de madeira							
CP I				CP II			
s/ ad		c/ ad		s/ ad		c/ ad	
40,1834		49,4017		36,4147		44,7671	
39,7251		49,1725		35,2942		44,6652	
39,4450		48,9943		35,1923		44,4106	
39,4195		48,7396		34,9886		44,3342	
39,2158		48,6378		34,7849		44,2069	
39,1903		48,6123		34,6576		44,0541	
38,8083		48,5359		34,3265		44,0286	
31,5763		47,9757		31,3217		43,8249	
27,5274		44,4615		31,0416		41,7113	
Média =	37,2324	Média =	48,2812	Média =	34,2247	Média =	44,0003
Máximo =	40,1834	Máximo =	49,4017	Máximo =	36,4147	Máximo =	44,7671
Mínimo =	27,5274	Mínimo =	44,4615	Mínimo =	31,0416	Mínimo =	41,7113
Méd / Máx =	2,9511	Méd / Máx =	1,1205	Méd / Máx =	2,1900	Méd / Máx =	0,7668
Mín / Méd =	9,7049	Mín / Méd =	3,8197	Mín / Méd =	3,1831	Mín / Méd =	2,2890
Máx / Mín =	12,6560	Máx / Mín =	4,9402	Máx / Mín =	5,3731	Máx / Mín =	3,0558
Dispersão >8%		Dispersão >8%		Dispersão >8%		Dispersão <8%	

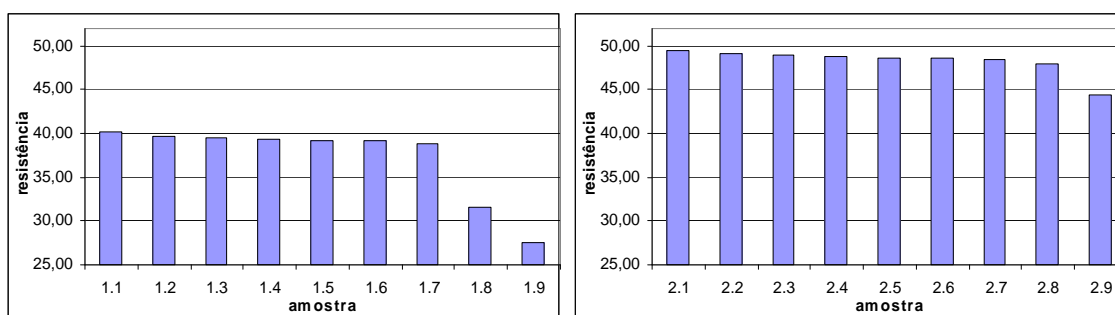


Figura 43 – Dispersão dos resultados de resistência à compressão para o traço 1:2 com 5% de madeira, com cimento CP I, sem aditivo e com aditivo respectivamente

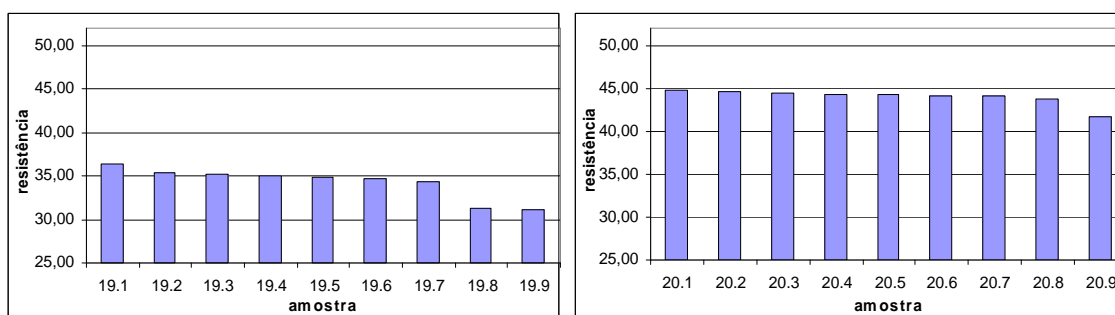


Figura 44 – Dispersão dos resultados de resistência à compressão para o traço 1:2 com 5% de madeira, com cimento CP II, sem aditivo e com aditivo respectivamente

Tabela 82 – Análise de dispersão CPI e CP II, traço 1:2 3,5% de madeira

Tensões de ruptura (MPa) traço 1:2, com 3,5% de madeira							
CP I				CP II			
s/ ad		c/ ad		s/ ad		c/ ad	
42,6790		50,2675		36,7712		44,9708	
42,0424		50,1656		36,6693		44,9199	
41,9150		50,0892		36,6184		44,7671	
41,6349		50,0638		36,4147		44,5634	
41,5076		50,0383		36,3383		44,2578	
40,7691		49,9110		36,1345		44,2323	
40,6673		49,8855		36,0581		44,0541	
40,5909		49,6563		35,9054		43,9522	
40,2853		49,5545		35,6762		43,7994	
Média =	41,3435	Média =	49,9591	Média =	36,2873	Média =	44,3908
Máximo =	42,6790	Máximo =	50,2675	Máximo =	36,7712	Máximo =	44,9708
Mínimo =	40,2853	Mínimo =	49,5545	Mínimo =	35,6762	Mínimo =	43,7994
Méd / Máx =	1,3355	Méd / Máx =	0,3084	Méd / Máx =	0,4838	Méd / Máx =	0,5800
Mín / Méd =	1,0582	Mín / Méd =	0,4046	Mín / Méd =	0,6112	Mín / Méd =	0,5913
Máx / Mín =	2,3937	Máx / Mín =	0,7130	Máx / Mín =	1,0950	Máx / Mín =	1,1714
Dispersão <8%		Dispersão <8%		Dispersão <8%		Dispersão <8%	

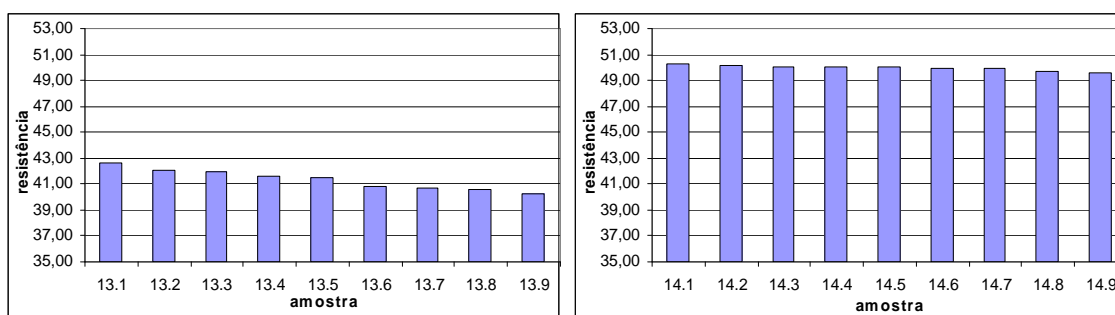


Figura 45 – Dispersão dos resultados de resistência à compressão para o traço 1:2 com 3,5% de madeira, com cimento CP I, sem aditivo e com aditivo respectivamente

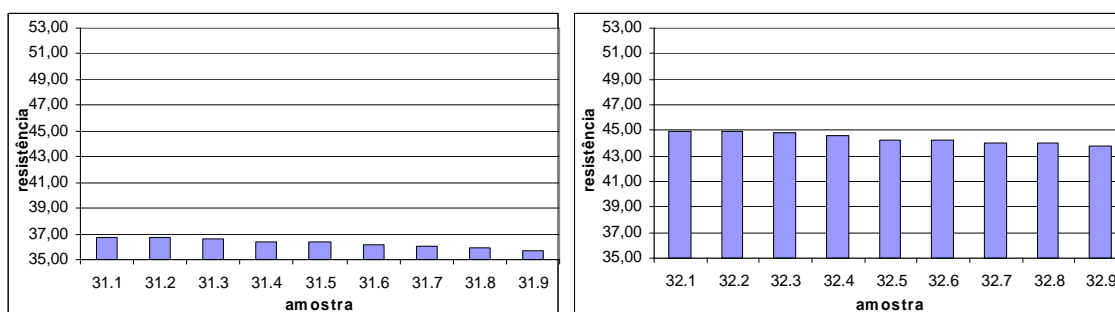


Figura 46 – Dispersão dos resultados de resistência à compressão para o traço 1:2 com 3,5% de madeira, com cimento CP II, sem aditivo e com aditivo respectivamente

Tabela 83 – Análise de dispersão CPI e CP II, traço 1:2 2% de madeira

Tensões de ruptura (MPa) traço 1:2, com 2% de madeira							
CP I				CP II			
s/ ad		c/ ad		s/ ad		c/ ad	
43,4429		52,5084		37,6879		45,6329	
43,3920		52,4065		37,5860		45,5310	
43,2901		52,2283		37,4587		45,4037	
43,1883		52,1264		36,6693		45,3528	
43,1628		51,9991		36,3637		44,9199	
41,9150		51,7954		36,2873		44,7926	
41,7623		51,2606		36,0836		44,6143	
41,5076		51,0060		35,7526		44,3342	
40,7691		50,8787		35,6507		44,2833	
Média =	42,4922	Média =	51,8010	Média =	36,6155	Média =	44,9850
Máximo =	43,4429	Máximo =	52,5084	Máximo =	37,6879	Máximo =	45,6329
Mínimo =	40,7691	Mínimo =	50,8787	Mínimo =	35,6507	Mínimo =	44,2833
Méd / Máx =	0,9507	Méd / Máx =	0,7074	Méd / Máx =	1,0724	Méd / Máx =	0,6479
Mín / Méd =	1,7231	Mín / Méd =	0,9224	Mín / Méd =	0,9648	Mín / Méd =	0,7017
Máx / Mín =	2,6738	Máx / Mín =	1,6297	Máx / Mín =	2,0372	Máx / Mín =	1,3496
Dispersão <8%		Dispersão <8%		Dispersão <8%		Dispersão <8%	

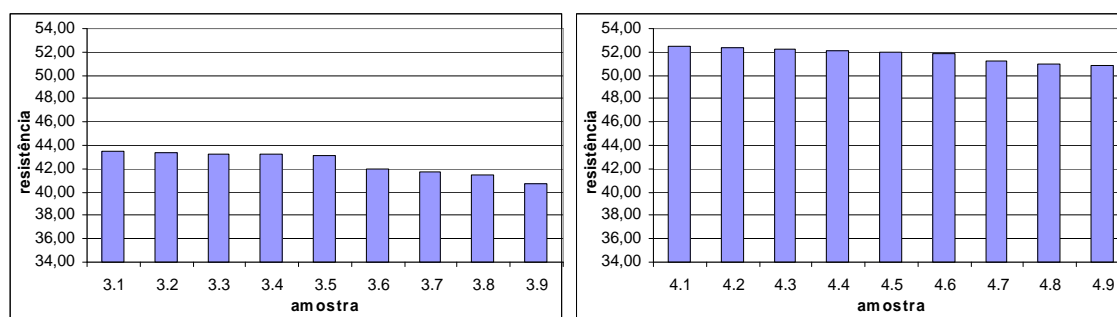


Figura 47 – Dispersão dos resultados de resistência à compressão para o traço 1:2 com 2% de madeira, com cimento CP I, sem aditivo e com aditivo respectivamente

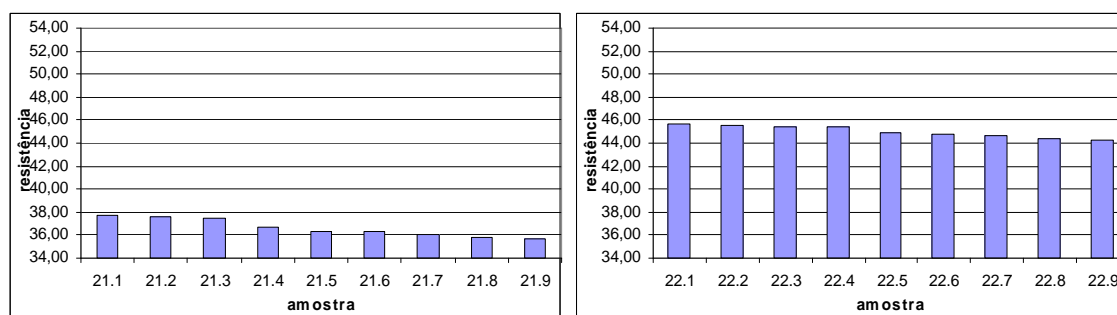


Figura 48 – Dispersão dos resultados de resistência à compressão para o traço 1:2 com 2% de madeira, com cimento CP II, sem aditivo e com aditivo respectivamente

Tabela 84 – Análise de dispersão CPI e CP II, traço 1:3 5% de madeira

Tensões de ruptura (MPa) traço 1:3, com 5% de madeira							
CP I				CP II			
s/ ad		c/ ad		s/ ad		c/ ad	
37,5351	46,4478	35,7016	43,4429				
37,4332	46,3459	35,6762	43,3411				
36,8730	46,0913	35,5488	43,2392				
36,6184	46,0149	35,4979	43,2138				
36,2109	45,9130	35,2687	42,9336				
35,8290	45,7857	34,9886	42,8318				
35,3961	45,7602	34,9122	42,7299				
24,1152	45,0727	23,6823	42,6790				
23,2239	44,8690	22,0016	42,6535				
Média =	33,6927	Média =	45,8112	Média =	32,5864	Média =	43,0072
Máximo =	37,5351	Máximo =	46,4478	Máximo =	35,7016	Máximo =	43,4429
Mínimo =	23,2239	Mínimo =	44,8690	Mínimo =	22,0016	Mínimo =	42,6535
Méd / Máx =	3,8424	Méd / Máx =	0,6366	Méd / Máx =	3,1152	Méd / Máx =	0,4357
Mín / Méd =	10,4689	Mín / Méd =	0,9422	Mín / Méd =	10,5849	Mín / Méd =	0,3537
Máx / Mín =	14,3112	Máx / Mín =	1,5788	Máx / Mín =	13,7001	Máx / Mín =	0,7894
<b>Dispersão &gt;8%</b>		<b>Dispersão &lt;8%</b>		<b>Dispersão &gt;8%</b>		<b>Dispersão &lt;8%</b>	

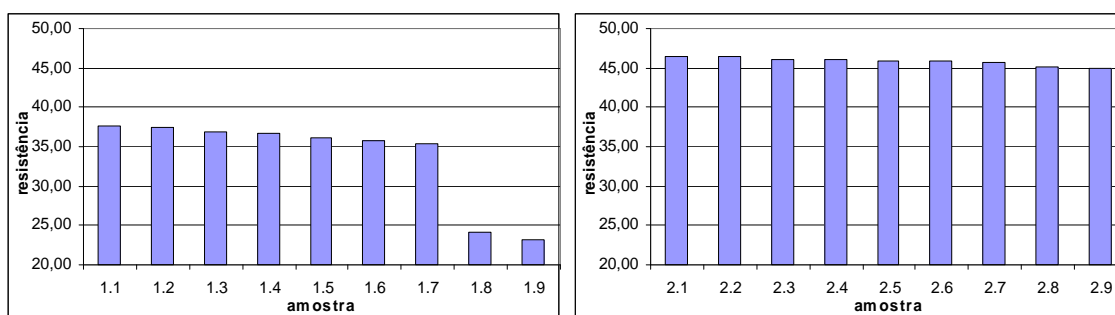


Figura 49 – Dispersão dos resultados de resistência à compressão para o traço 1:3 com 5% de madeira, com cimento CP I, sem aditivo e com aditivo respectivamente

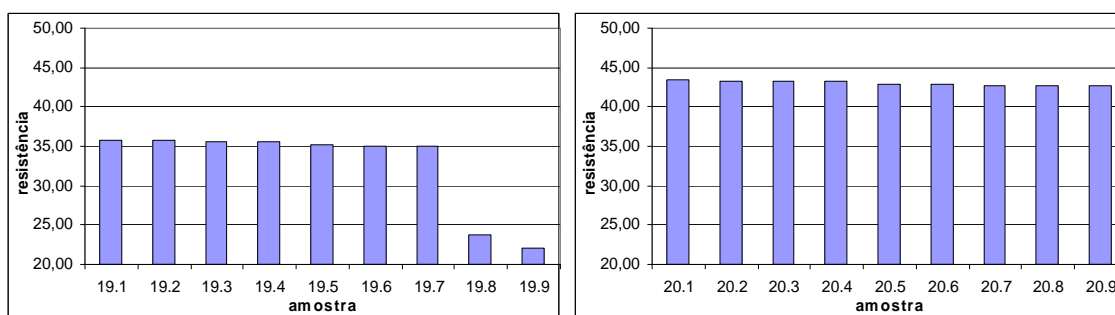


Figura 50 – Dispersão dos resultados de resistência à compressão para o traço 1:3 com 5% de madeira, com cimento CP II, sem aditivo e com aditivo respectivamente

Tabela 85 – Análise de dispersão CPI e CP II, traço 1:3 3,5% de madeira

Tensões de ruptura (MPa) traço 1:3, com 3,5% de madeira							
CP I				CP II			
s/ ad		c/ ad		s/ ad		c/ ad	
40,4381		48,4340		36,0581		43,9522	
40,2344		48,3831		35,6252		43,8758	
40,0052		48,0011		35,5488		43,6976	
39,7760		47,7210		35,2433		43,3411	
39,4704		47,4154		34,8613		43,1374	
39,2412		47,2881		34,5812		42,8063	
39,0121		47,0335		34,3265		42,6026	
38,6556		46,4732		34,1483		42,5771	
31,7291		46,2441		34,0210		41,3803	
Média =	38,7291	Média =	47,4437	Média =	34,9349	Média =	43,0412
Máximo =	40,4381	Máximo =	48,4340	Máximo =	36,0581	Máximo =	43,9522
Mínimo =	31,7291	Mínimo =	46,2441	Mínimo =	34,0210	Mínimo =	41,3803
Méd / Máx =	1,7090	Méd / Máx =	0,9903	Méd / Máx =	1,1233	Méd / Máx =	0,9111
Mín / Méd =	7,0000	Mín / Méd =	1,1997	Mín / Méd =	0,9139	Mín / Méd =	1,6609
Máx / Mín =	8,7090	Máx / Mín =	2,1900	Máx / Mín =	2,0372	Máx / Mín =	2,5719
<b>Dispersão &gt;8%</b>		<b>Dispersão &lt;8%</b>		<b>Dispersão &lt;8%</b>		<b>Dispersão &lt;8%</b>	

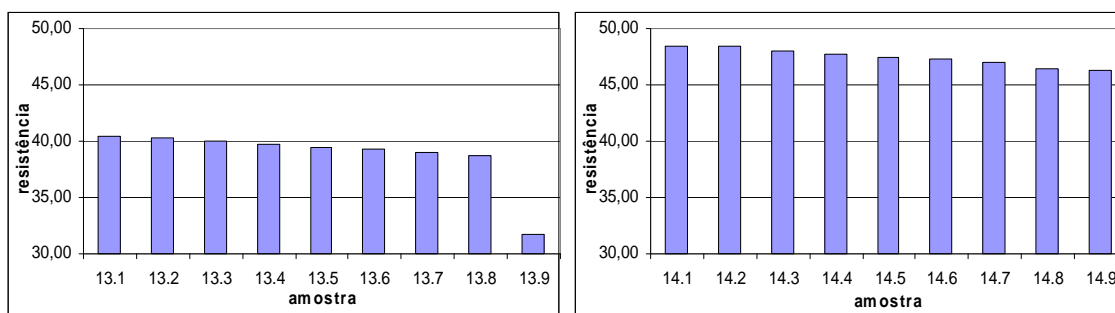


Figura 51 – Dispersão dos resultados de resistência à compressão para o traço 1:3 com 3,5% de madeira, com cimento CP I, sem aditivo e com aditivo respectivamente

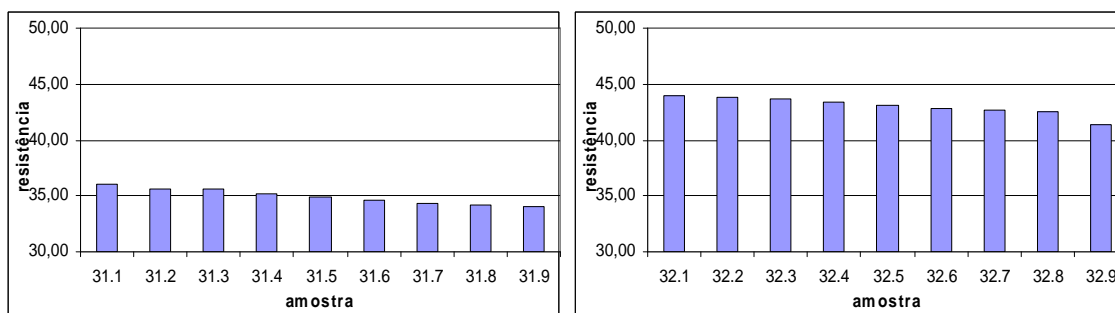


Figura 52 – Dispersão dos resultados de resistência à compressão para o traço 1:3 com 3,5% de madeira, com cimento CP II, sem aditivo e com aditivo respectivamente

Tabela 86 – Análise de dispersão CPI e CP II, traço 1:3 2% de madeira

Tensões de ruptura (MPa) traço 1:3, com 2% de madeira							
CPI		CP II					
s/ ad	c/ ad	s/ ad	c/ ad				
41,2530	51,3370	36,2619	44,8690				
41,0238	50,9041	36,1600	44,8435				
40,8201	50,8023	35,3451	44,7671				
40,4381	50,5731	34,9632	44,5125				
40,3617	50,4967	34,7340	44,4106				
40,3362	50,2675	34,3775	44,3342				
40,2598	50,0892	34,2501	44,1305				
40,1834	49,7327	34,1992	44,1559				
39,3176	49,6309	26,4834	43,6467				
Média =	40,4437	Média =	50,4259	Média =	34,0860	Média =	44,4078
Máximo =	41,2530	Máximo =	51,3370	Máximo =	36,2619	Máximo =	44,8690
Mínimo =	39,3176	Mínimo =	49,6309	Mínimo =	26,4834	Mínimo =	43,6467
Méd / Máx =	0,8092	Méd / Máx =	0,9111	Méd / Máx =	2,1758	Méd / Máx =	0,4612
Mín / Méd =	1,1261	Mín / Méd =	0,7951	Mín / Méd =	7,6027	Mín / Méd =	0,7611
Máx / Mín =	1,9353	Máx / Mín =	1,7061	Máx / Mín =	9,7785	Máx / Mín =	1,2223
Dispersão <8%		Dispersão <8%		Dispersão >8%		Dispersão <8%	

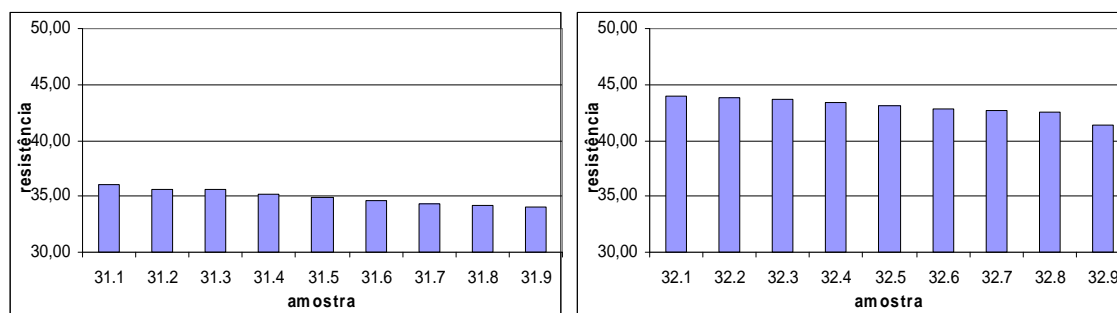


Figura 53 – Dispersão dos resultados de resistência à compressão para o traço 1:3 com 2% de madeira, com cimento CP I, sem aditivo e com aditivo respectivamente

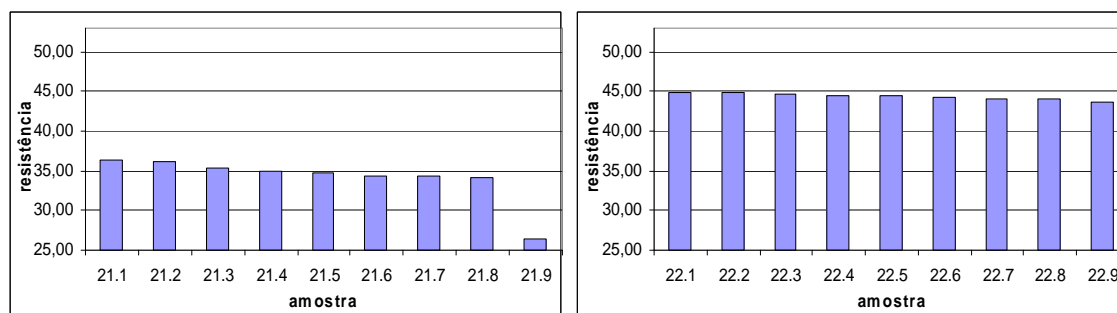


Figura 54 – Dispersão dos resultados de resistência à compressão para o traço 1:3 com 2% de madeira, com cimento CP II, sem aditivo e com aditivo respectivamente



**ANEXO G – RELAÇÃO ÁGUA-CIMENTO E ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA**

Tabela 87 – Relação água-cimento e índice de consistência para o cimento CP I

Traços discriminados							
Cimento / Aditivo	1:M	1 + M = 1 + a + w					
		Adição de madeira (w, em %)	Traço	Água (ml)	Traço em massa (Kg)	Água cimento	Índice de consistência cm
<b>CP I sem aditivo</b>	1 : 1	5%	1 : 0,950 : 0,050	1000,000	2,5 : 2,38 : 0,13	0,4000	22
	1 : 1	3,50%	1 : 0,965 : 0,035	1000,000	2,5 : 2,41 : 0,09	0,4000	23
	1 : 1	2%	1 : 0,980 : 0,020	1065,000	2,5 : 2,45 : 0,05	0,4260	26
	1 : 2	5,00%	1 : 1,950 : 0,050	680,000	1,6 : 3,12 : 0,08	0,4250	25
	1 : 2	3,50%	1 : 1,965 : 0,035	695,000	1,6 : 3,14 : 0,06	0,4344	24
	1 : 2	2,00%	1 : 1,980 : 0,020	720,000	1,6 : 3,17 : 0,03	0,4500	25
	1 : 3	5%	1 : 2,950 : 0,050	580,000	1,3 : 3,84 : 0,06	0,4462	25
	1 : 3	3,50%	1 : 2,965 : 0,035	585,000	1,3 : 3,85 : 0,05	0,4500	22
	1 : 3	2%	1 : 2,980 : 0,020	605,000	1,3 : 3,87 : 0,03	0,4654	23
<b>CP I com aditivo</b>	1 : 1	5,00%	1 : 0,950 : 0,050	1100,000	2,5 : 2,38 : 0,13	0,4400	22
	1 : 1	3,50%	1 : 0,965 : 0,035	1020,000	2,5 : 2,41 : 0,09	0,4080	24
	1 : 1	2,00%	1 : 0,980 : 0,020	960,000	2,5 : 2,45 : 0,05	0,3840	25
	1 : 2	5%	1 : 1,950 : 0,050	1080,000	2,5 : 4,88 : 0,13	0,4320	25
	1 : 2	3,50%	1 : 1,965 : 0,035	1100,000	2,5 : 4,91 : 0,09	0,4400	25
	1 : 2	2%	1 : 1,980 : 0,020	1135,000	2,5 : 4,95 : 0,05	0,4540	24
	1 : 3	5,00%	1 : 2,950 : 0,050	1105,000	2,5 : 7,38 : 0,13	0,4420	24
	1 : 3	3,50%	1 : 2,965 : 0,035	1110,000	2,5 : 7,41 : 0,09	0,4440	25
	1 : 3	2,00%	1 : 2,980 : 0,020	1150,000	2,5 : 7,45 : 0,05	0,4600	25

Tabela 88 – Relação água-cimento e índice de consistência para o cimento CP II

Traços discriminados							
Cimento / Aditivo	1:M	1 + M = 1 + a + w					
		Adição de madeira (w, em %)	Traço	Água (ml)	Traço em massa	Água cimento	Índice de consistência cm
<b>CP II sem aditivo</b>	1 : 1	5%	1 : 0,950 : 0,050	1100,000	2,5 : 2,38 : 0,13	0,4400	23
	1 : 1	3,50%	1 : 0,965 : 0,035	1020,000	2,5 : 2,41 : 0,09	0,4080	22
	1 : 1	2%	1 : 0,980 : 0,020	1045,000	2,5 : 2,45 : 0,05	0,4180	24
	1 : 2	5,00%	1 : 1,950 : 0,050	1180,000	2,5 : 4,88 : 0,13	0,4720	26
	1 : 2	3,50%	1 : 1,965 : 0,035	1135,000	2,5 : 4,91 : 0,09	0,4540	25
	1 : 2	2,00%	1 : 1,980 : 0,020	1120,000	2,5 : 4,95 : 0,05	0,4480	25
	1 : 3	5%	1 : 2,950 : 0,050	1205,000	2,5 : 7,38 : 0,13	0,4820	24
	1 : 3	3,50%	1 : 2,965 : 0,035	1170,000	2,5 : 7,41 : 0,09	0,4680	21
	1 : 3	2%	1 : 2,980 : 0,020	1130,000	2,5 : 7,45 : 0,05	0,4520	22
<b>CP II com aditivo</b>	1 : 1	5,00%	1 : 0,950 : 0,050	1120,000	2,5 : 2,38 : 0,13	0,4480	22
	1 : 1	3,50%	1 : 0,965 : 0,035	1100,000	2,5 : 2,41 : 0,09	0,4400	23
	1 : 1	2,00%	1 : 0,980 : 0,020	995,000	2,5 : 2,45 : 0,05	0,3980	25
	1 : 2	5%	1 : 1,950 : 0,050	1150,000	2,5 : 4,88 : 0,13	0,4600	24
	1 : 2	3,50%	1 : 1,965 : 0,035	1200,000	2,5 : 4,91 : 0,09	0,4800	24
	1 : 2	2%	1 : 1,980 : 0,020	1205,000	2,5 : 4,95 : 0,05	0,4820	24
	1 : 3	5,00%	1 : 2,950 : 0,050	1200,000	2,5 : 7,38 : 0,13	0,4800	25
	1 : 3	3,50%	1 : 2,965 : 0,035	1230,000	2,5 : 7,41 : 0,09	0,4920	24
	1 : 3	2,00%	1 : 2,980 : 0,020	1220,000	2,5 : 7,45 : 0,05	0,4880	25

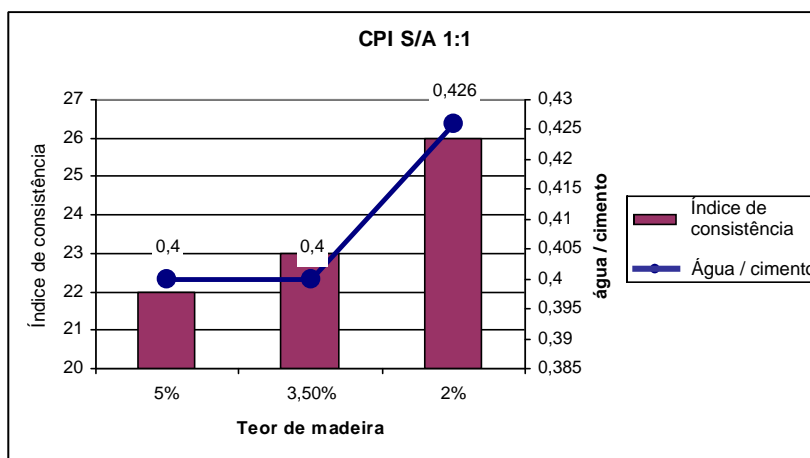


Figura 55 – Comparação do índice de consistência versus relação água / cimento, traço 1:1, cimento CPI, sem aditivo

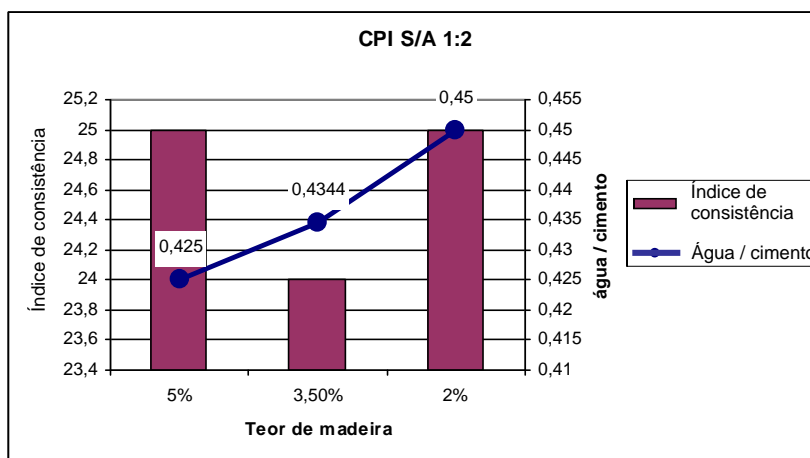


Figura 56 – Comparação do índice de consistência versus relação água / cimento, traço 1:2, cimento CPI, sem aditivo

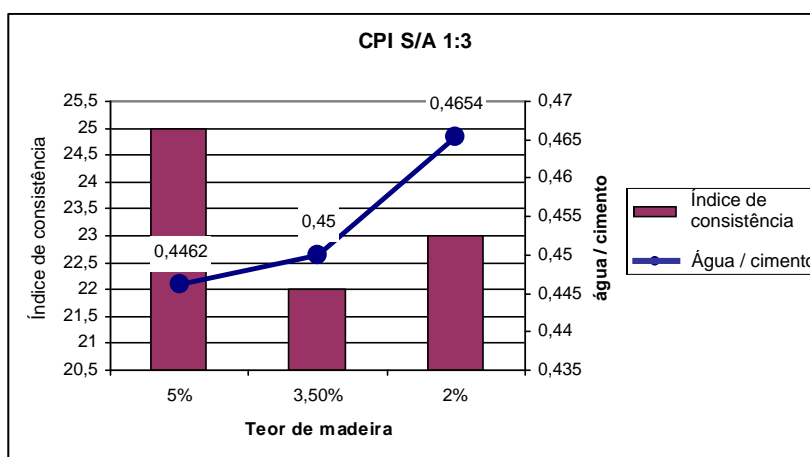


Figura 57 – Comparação do índice de consistência versus relação água / cimento, traço 1:3, cimento CPI, sem aditivo

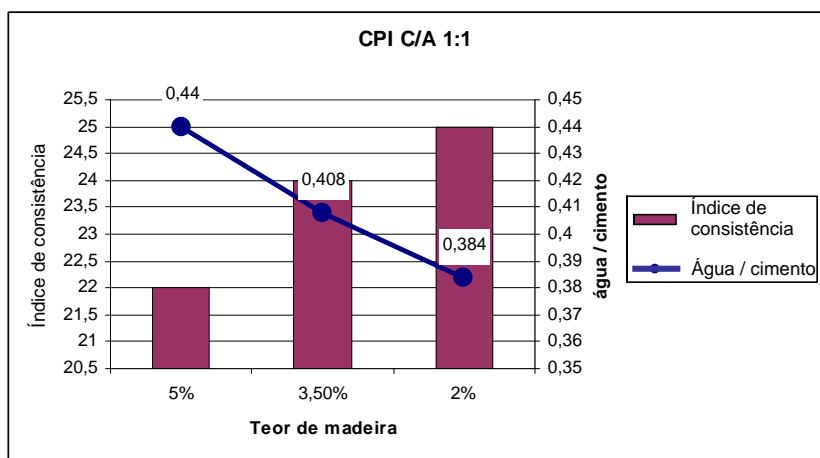


Figura 58 – Comparação do índice de consistência versus relação água / cimento, traço 1:1, cimento CPI, com aditivo

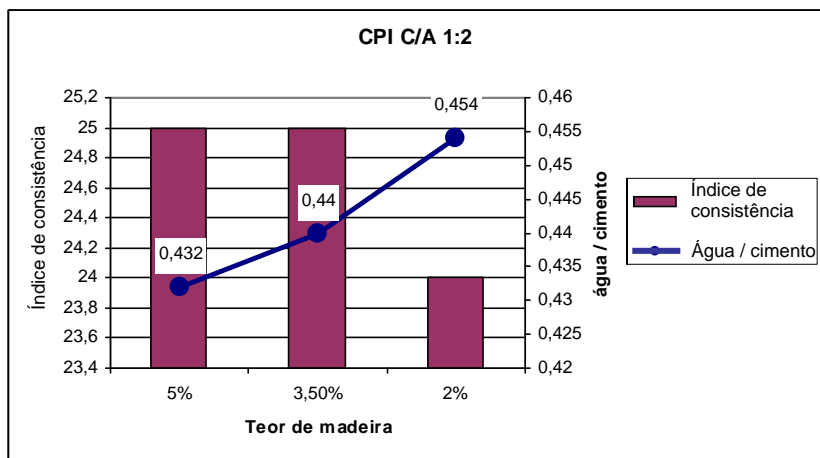


Figura 59 – Comparação do índice de consistência versus relação água / cimento, traço 1:2, cimento CPI, com aditivo

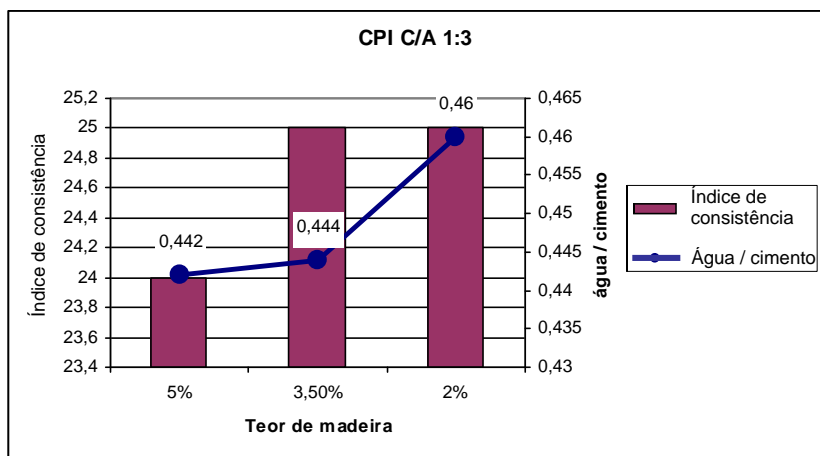


Figura 60 – Comparação do índice de consistência versus relação água / cimento, traço 1:3, cimento CPI, com aditivo

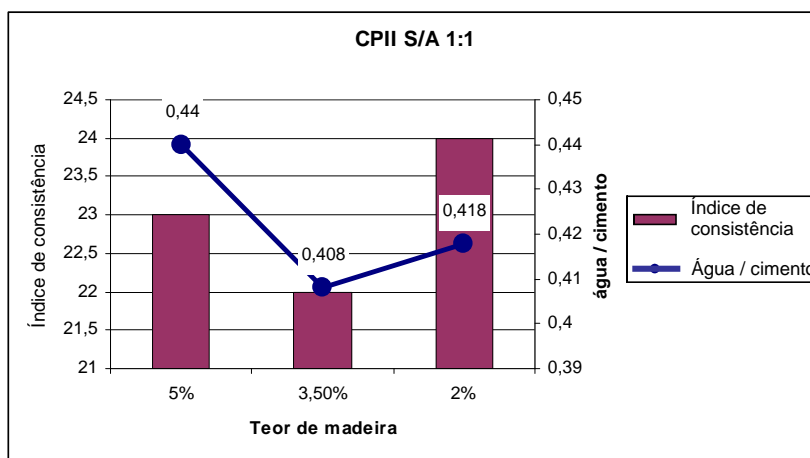


Figura 61 – Comparação do índice de consistência versus relação água / cimento, traço 1:1, cimento CPII, sem aditivo

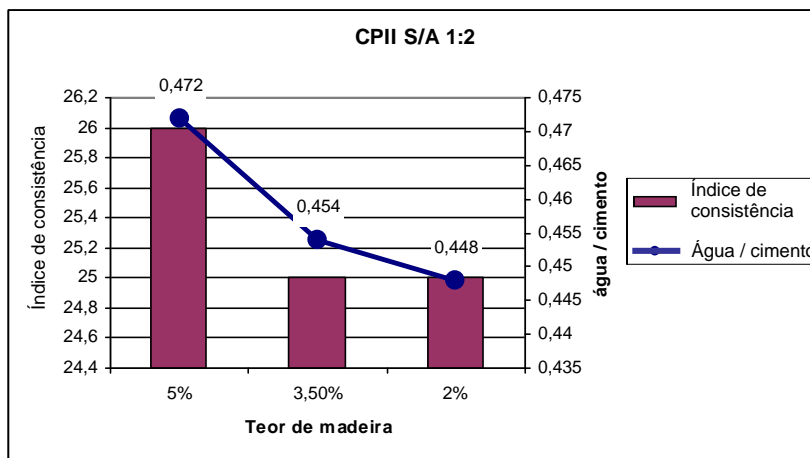


Figura 62 – Comparação do índice de consistência versus relação água / cimento, traço 1:2, cimento CPII, sem aditivo

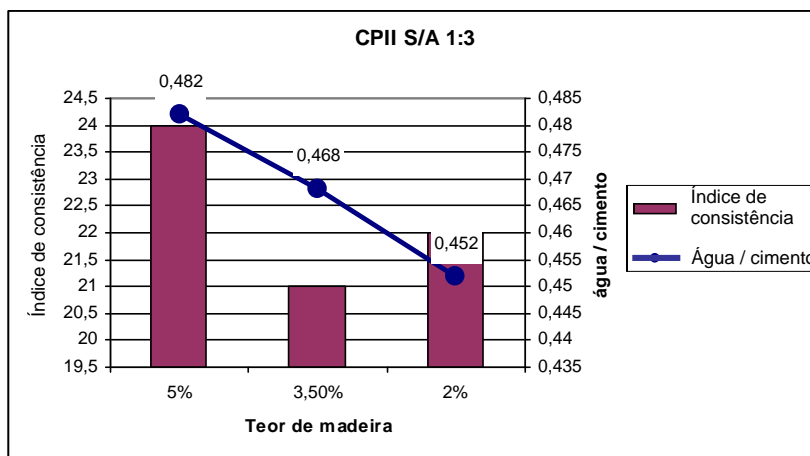


Figura 63 – Comparação do índice de consistência versus relação água / cimento, traço 1:3, cimento CPII, sem aditivo

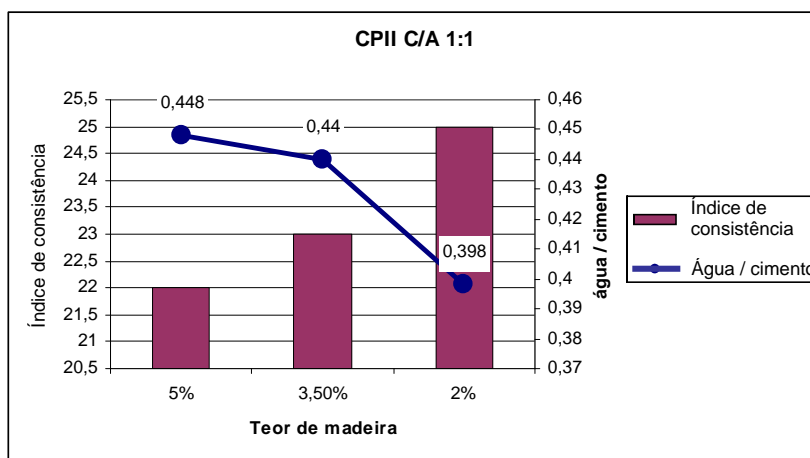


Figura 64 – Comparação do índice de consistência versus relação água / cimento, traço 1:1, cimento CPII, com aditivo

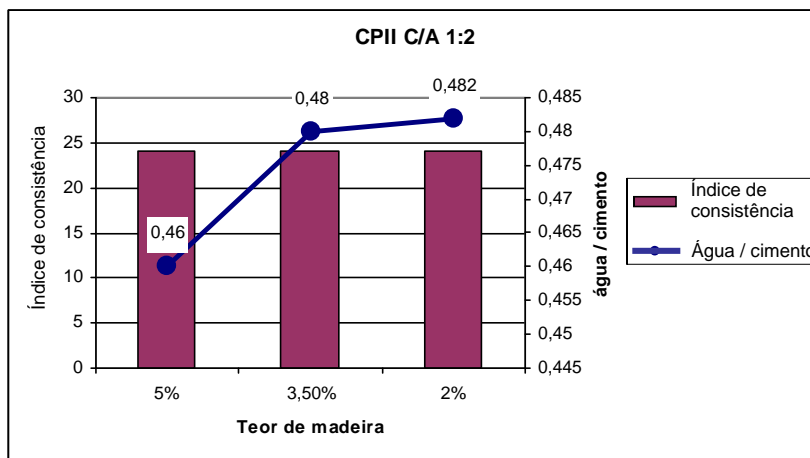


Figura 65 – Comparação do índice de consistência versus relação água / cimento, traço 1:2, cimento CPII, com aditivo

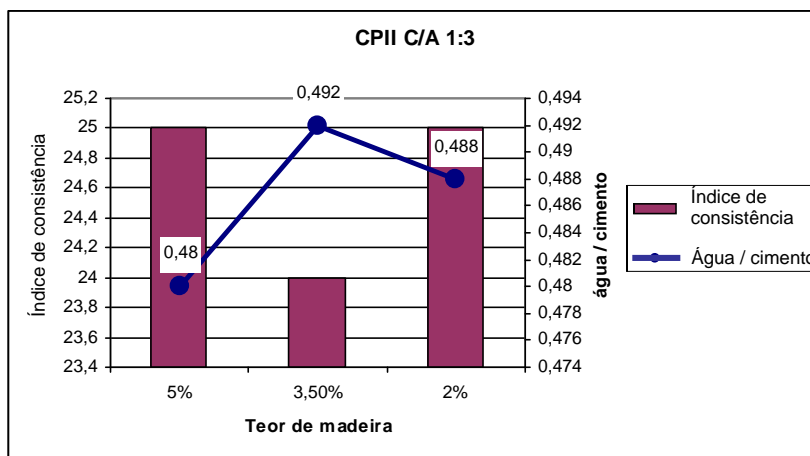


Figura 66 – Comparação do índice de consistência versus relação água / cimento, traço 1:3, cimento CPII, com aditivo

**ANEXO H – CUSTO UNITÁRIO**



Tabela 89 – Cálculo do custo dos insumos, por kg de compósito moldado

Cálculo do custo dos materiais					Custo unitário	Cimento (kg)	R\$	0,32		
						Areia (kg)	R\$	0,01		
						Aditivo (L)	R\$	4,00		
Identificação	Traço unitário	Água (ml)	Traço em massa (Kg)	Massa total (kg)	custo cimento	custo areia	custo aditivo	custo total/kg		
CP I sem aditivo	1:1 5%	1 : 0,95 : 0,05	1000	2,5 : 2,38 : 0,13	5,00	0,80	0,02	0,00	<b>0,1647500</b>	
	1:1 3,5%	1 : 0,97 : 0,04	1000	2,5 : 2,41 : 0,09	5,00	0,80	0,02	0,00	<b>0,1648250</b>	
	1:1 2%	1 : 0,98 : 0,02	1065	2,5 : 2,45 : 0,05	5,00	0,80	0,02	0,00	<b>0,1649000</b>	
	1:2 5%	1 : 1,95 : 0,05	680	1,6 : 3,12 : 0,08	4,80	0,51	0,03	0,00	<b>0,1131667</b>	
	1:2 3,5%	1 : 1,97 : 0,04	695	1,6 : 3,14 : 0,06	4,80	0,51	0,03	0,00	<b>0,1132167</b>	
	1:2 2%	1 : 1,98 : 0,02	720	1,6 : 3,17 : 0,03	4,80	0,51	0,03	0,00	<b>0,1132667</b>	
	1:3 5%	1 : 2,95 : 0,05	580	1,3 : 3,84 : 0,07	5,20	0,42	0,04	0,00	<b>0,0873750</b>	
	1:3 3,5%	1 : 2,97 : 0,04	585	1,3 : 3,85 : 0,05	5,20	0,42	0,04	0,00	<b>0,0874125</b>	
	1:3 2%	1 : 2,98 : 0,02	605	1,3 : 3,87 : 0,03	5,20	0,42	0,04	0,00	<b>0,0874500</b>	
CP I com aditivo	1:1 5%	1 : 0,95 : 0,05	1100	2,5 : 2,38 : 0,13	5,00	0,80	0,02	0,40	<b>0,2447500</b>	
	1:1 3,5%	1 : 0,97 : 0,04	1020	2,5 : 2,41 : 0,09	5,00	0,80	0,02	0,37	<b>0,2390068</b>	
	1:1 2%	1 : 0,98 : 0,02	960	2,5 : 2,45 : 0,05	5,00	0,80	0,02	0,35	<b>0,2347182</b>	
	1:2 5%	1 : 1,95 : 0,05	1080	2,5 : 4,88 : 0,13	7,50	0,80	0,05	0,39	<b>0,1655303</b>	
	1:2 3,5%	1 : 1,97 : 0,04	1100	2,5 : 4,91 : 0,09	7,50	0,80	0,05	0,40	<b>0,1665500</b>	
	1:2 2%	1 : 1,98 : 0,02	1135	2,5 : 4,95 : 0,05	7,50	0,80	0,05	0,41	<b>0,1682970</b>	
	1:3 5%	1 : 2,95 : 0,05	1105	2,5 : 7,38 : 0,13	10,00	0,80	0,07	0,40	<b>0,1275568</b>	
	1:3 3,5%	1 : 2,97 : 0,04	1110	2,5 : 7,41 : 0,09	10,00	0,80	0,07	0,40	<b>0,1277761</b>	
	1:3 2%	1 : 2,98 : 0,02	1150	2,5 : 7,45 : 0,05	10,00	0,80	0,07	0,42	<b>0,1292682</b>	
CP II sem aditivo	1:1 5%	1 : 0,95 : 0,05	1100	2,5 : 2,38 : 0,13	5,00	0,80	0,02	0,00	<b>0,1647500</b>	
	1:1 3,5%	1 : 0,97 : 0,04	1020	2,5 : 2,41 : 0,09	5,00	0,80	0,02	0,00	<b>0,1648250</b>	
	1:1 2%	1 : 0,98 : 0,02	1045	2,5 : 2,45 : 0,05	5,00	0,80	0,02	0,00	<b>0,1649000</b>	
	1:2 5%	1 : 1,95 : 0,05	1180	2,5 : 4,88 : 0,13	7,50	0,80	0,05	0,00	<b>0,1131667</b>	
	1:2 3,5%	1 : 1,97 : 0,04	1135	2,5 : 4,91 : 0,09	7,50	0,80	0,05	0,00	<b>0,1132167</b>	
	1:2 2%	1 : 1,98 : 0,02	1120	2,5 : 4,95 : 0,05	7,50	0,80	0,05	0,00	<b>0,1132667</b>	
	1:3 5%	1 : 2,95 : 0,05	1205	2,5 : 7,38 : 0,13	10,00	0,80	0,07	0,00	<b>0,0873750</b>	
	1:3 3,5%	1 : 2,97 : 0,04	1170	2,5 : 7,41 : 0,09	10,00	0,80	0,07	0,00	<b>0,0874125</b>	
	1:3 2%	1 : 2,98 : 0,02	1130	2,5 : 7,45 : 0,05	10,00	0,80	0,07	0,00	<b>0,0874500</b>	
CP II com aditivo	1:1 5%	1 : 0,95 : 0,05	1120	2,5 : 2,38 : 0,13	5,00	0,80	0,02	0,41	<b>0,2462045</b>	
	1:1 3,5%	1 : 0,97 : 0,04	1100	2,5 : 2,41 : 0,09	5,00	0,80	0,02	0,40	<b>0,2448250</b>	
	1:1 2%	1 : 0,98 : 0,02	995	2,5 : 2,45 : 0,05	5,00	0,80	0,02	0,36	<b>0,2372636</b>	
	1:2 5%	1 : 1,95 : 0,05	1150	2,5 : 4,88 : 0,13	7,50	0,80	0,05	0,42	<b>0,1689242</b>	
	1:2 3,5%	1 : 1,97 : 0,04	1200	2,5 : 4,91 : 0,09	7,50	0,80	0,05	0,44	<b>0,1713985</b>	
	1:2 2%	1 : 1,98 : 0,02	1205	2,5 : 4,95 : 0,05	7,50	0,80	0,05	0,44	<b>0,1716909</b>	
	1:3 5%	1 : 2,95 : 0,05	1200	2,5 : 7,38 : 0,13	10,00	0,80	0,07	0,44	<b>0,1310114</b>	
	1:3 3,5%	1 : 2,97 : 0,04	1230	2,5 : 7,41 : 0,09	10,00	0,80	0,07	0,45	<b>0,1321398</b>	
	1:3 2%	1 : 2,98 : 0,02	1220	2,5 : 7,45 : 0,05	10,00	0,80	0,07	0,44	<b>0,1318136</b>	

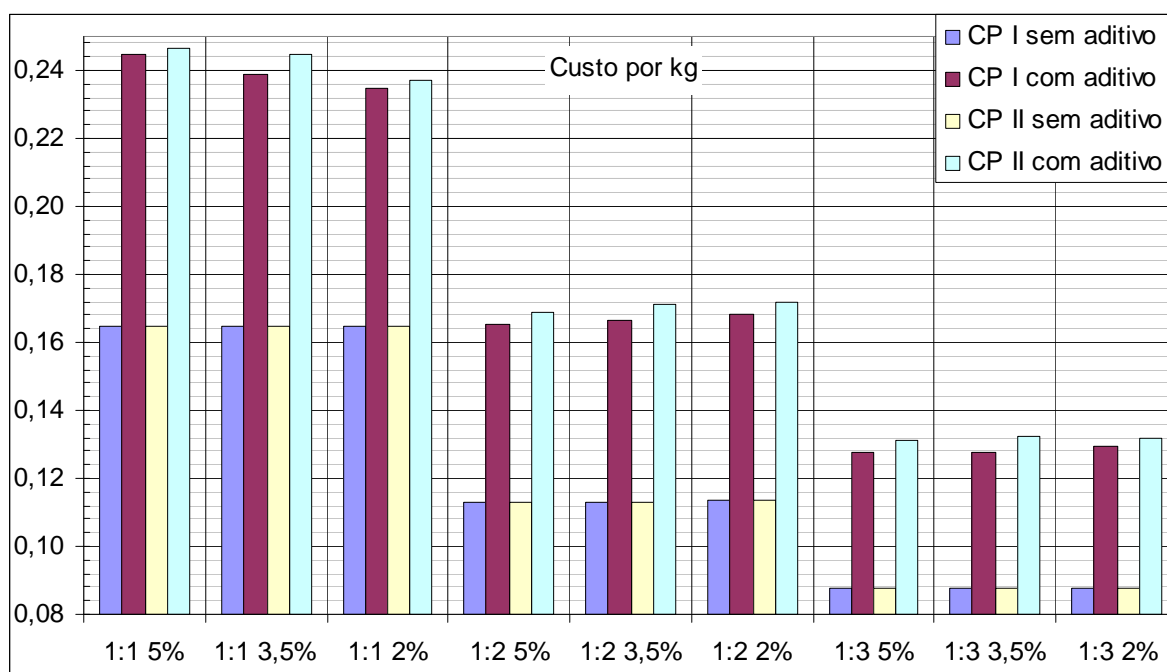


Figura 67 – Custo dos insumos por quilograma de material moldado



This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.