

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

LUANA CECHIN

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DE PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE CIMENTO
REFORÇADOS COM BIOMASSA VEGETAL E ESCÓRIA DE ALTO-FORNO**

DISSERTAÇÃO - MESTRADO

CURITIBA

2017

LUANA CECHIN

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DE PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE CIMENTO
REFORÇADOS COM BIOMASSA VEGETAL E ESCÓRIA DE ALTO-FORNO**

Trabalho de Dissertação apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Adalberto Matoski

Coorientador: Prof. Dr. Aduino José Miranda de Lima

CURITIBA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

C387a Cechin, Luana
2017 Análise da viabilidade de produção de painéis de cimento
reforçados com biomassa vegetal e escória de alto-forno
/ Luana Cechin.-- 2017.
159 f.: il; 30 cm.

Texto em português, com resumo em inglês.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica
Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Civil, Curitiba, 2017.

Bibliografia: p. 128-140.

1. Engenharia civil - Dissertações. 2. Biomassa vegetal.
3. Cimento Portland. 4. Cana-de-açúcar. 5. Bambu.
6. Escória. 7. Carvão vegetal. 8. Construção civil.
I. Matoski, Adalberto. II. Lima, Adalto José Miranda
de. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná
- Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. IV.
Título.

CDD: Ed. 22 -- 624



TERMO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO N.º 108

ANÁLISE DA VIABILIDADE DE PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE CIMENTO REFORÇADOS COM BIOMASSA VEGETAL E ESCÓRIA DE ALTO-FORNO

POR

LUANA CECHIN

Esta dissertação foi apresentada às 09h00min do dia 30 de março de 2017, como requisito parcial para a obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL**, área de Construção Civil, linha de pesquisa de Materiais e Componentes de Construção, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. O Candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Adalberto Matoski
(Orientador - UTFPR)

Prof. Dr. Adauto José Miranda de Lima
(UTFPR)

Profa. Dra. Rosilani Trianoski
(UFPR)

Prof. Dr. Setsuo Iwakiri
(UFPR)

Visto da Coordenação:

Prof. Dr. Ronaldo Luis dos Santos Izzo
Coordenador do PPGEC

AGRADECIMENTOS

Neste momento é gratificante olhar para trás e lembrar das pessoas que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho. Agradeço:

Ao meu orientador, Prof. Dr. Adalberto Matoski e ao meu coorientador, Prof. Dr. Adauto José Miranda de Lima pela oportunidade, incentivo, compreensão e ajuda durante o desenvolvimento da pesquisa. Agradeço também aos demais Professores que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

A INBRASFAMA – Indústria Brasileira de Farinha de Madeira, em especial a Tatiane e Sandro pelo apoio e fornecimento do material para pesquisa.

Aos Técnicos dos laboratórios da UTFPR, Gustavo e Felipe, pela ajuda e tempo disponibilizado para que a realização dos ensaios fosse possível.

Ao no Laboratório de Análises de Minerais e Rochas – LAMIR do Departamento de Geologia da UFPR

Ao Centro Multiusuário de Caracterização de Materiais -CMCM da UTFPR por ter permitido a realização das análises de difração aos Raios X (DRX) e demais ensaios.

Ao Laboratório de Polpa e Papel e Química da Madeira do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR.

A Fundação Araucária pela bolsa de pesquisa e a coordenação do PPGEC-Curitiba pelo auxílio com demais despesas.

Ao bolsista de IC, João Pedro que sempre se demonstrou prestativo e competente.

A todos os amigos e colegas do PPGEC. As amigas Rosângela, Alessandra, Andreia, Ticiane, Jéssica, Lucimara e Priscila por toda a amizade, atenção e amadurecimento. A Camila, Ana Paula e Patricia pelo acolhimento, amizade e companheirismo.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa, expresso aqui os meus agradecimentos.

A minha família pelo apoio ao longo desta jornada, pela paciência e compreensão nos momentos difíceis, por todo o auxílio e incentivo. E principalmente a Deus, por ter me proporcionado essa experiência.

RESUMO

CECHIN, Luana. Análise da viabilidade de produção de painéis de cimento reforçados com biomassa vegetal e escória de alto-forno. 2017. 159 f. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

O objetivo dessa pesquisa foi caracterizar painéis de cimento reforçados com biomassa vegetal de bambu mossô (*Phyllostachys pubescens*) e biomassa do bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) com adição de escória de alto-forno à carvão vegetal. Realizou-se a caracterização física e química dos materiais. Após, foi realizado ensaio de inibição para análise da compatibilidade da biomassa de bambu mossô e de cana-de-açúcar com o cimento Portland. Os tratamentos adotados para as biomassas foram: imersão em água fria, água quente, hidróxido de sódio, silicato de sódio, silano e aditivo acelerador de pega à base de cloreto de cálcio. Foi analisado a resistência à compressão dos compósitos com a adição de diferentes teores de escória de alto-forno à carvão vegetal. Finalmente foram determinadas as propriedades físicas e mecânicas dos painéis compostos de biomassa vegetal, cimento Portland e escória de alto-forno. Os resultados do ensaio de inibição feitos com a biomassa vegetal indicaram que a adição de cloreto de cálcio à mistura é o tratamento mais eficiente para reduzir o índice de inibição da biomassa de bambu mossô e de cana-de-açúcar. Para os compósitos com escória de alto-forno, o ensaio de inibição demonstrou que a adição de 50% de escória de alto-forno se mostrou eficaz no aumento da compatibilidade. O teor de 40% de escória apresentou resistência superior aos demais traços. Para os painéis cimento-biomassa vegetal verificou-se que a biomassa de bambu mossô apresenta total viabilidade para a confecção de painéis enquanto que a biomassa de cana-de-açúcar é inviável. A relevância desse estudo está no emprego de resíduos de atividades industriais, como biomassa vegetal e escória, para a produção de novos materiais de construção.

Palavras-chave: Painéis cimento-biomassa vegetal. Bambu mossô. Cana-de-açúcar. Escória de alto-forno à carvão vegetal.

ABSTRACT

CECHIN, Luana. 2017. Analysis of the viability of production of cement panels reinforced with vegetal biomass and blast furnace slag. 159 f. Dissertation. Graduate Program in Civil Engineering, Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2017.

This study aims at characterizing cement panels reinforced with mosso bamboo biomass (*Phyllostachys pubescens*) and biomass of sugarcane bagasse (*Saccharum officinarum*) with addition of blast furnace charcoal slag to the mix. The physical and chemical characterization of the materials were carried out. Afterwards, an inhibition test was performed to analyze the compatibility of the powders with Portland cement. The treatments adopted were: immersion in cold water, immersion in hot water, sodium hydroxide, sodium silicate, silane and calcium chloride. The composites compressive strength was analyzed with the addition of different mixes of blast furnace charcoal slag. Finally, the physical and mechanical properties of the panels made of vegetal biomass, Portland cement and blast furnace slag were determined. The results of the inhibition test, made with plant biomass shows that the addition of calcium chloride to the blend is the most efficient treatment to reduce the inhibition rate of the biomass of mosso bamboo and biomass of sugarcane. For composites with blast furnace slag, the inhibition test showed that the addition of 50% blast furnace slag proved effective in increasing compatibility, thus improving compressive strength. In this case, the treatment with 40% slag content presented superior resistance to the other traces. For the cement-vegetal biomass panels the study found out that the mosso bamboo biomass presents total feasibility for the preparation of panels whereas the sugar cane biomass is not feasible. The relevance of this study is the use of industrial waste, such as vegetal biomass and slag, for the production of new construction materials.

Keywords: Cement-Vegetable biomass panels. Mosso Bamboo. Sugar cane. Blast furnace charcoal slag

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curvas de hidratação de misturas de cimento Portland + água + madeira e pasta de cimento Portland.....	39
Figura 2 - Painéis de cimento-madeira.....	49
Figura 3 - Fluxograma Fase 1	52
Figura 4 - Fluxograma Fase 2	64
Figura 5 - Fluxograma Fase 3	69
Figura 6 - Fluxograma Fase 4	70
Figura 7 - Conjunto de placas de metal.....	73
Figura 8 - a) Cinzas do bambu mossô. b) Cinzas da cana-de-açúcar.....	77
Figura 9 - Distribuição granulométrica para a biomassa de bambu mossô e cana-de-açúcar	79
Figura 10 - Difratoograma de raios x para o bambu mossô sem tratamento	79
Figura 11 - Difratoograma de raios x para a cana-de-açúcar sem tratamento	80
Figura 12 - Difração de Raios X para a escória de alto-forno à carvão vegetal	82
Figura 13 - Curvas de hidratação da pasta, do compósito de biomassa bambu mossô sem tratamento e do compósito de biomassa de cana-de-açúcar sem tratamento.....	84
Figura 14 - a) Corpos de prova de biomassa de cana – de açúcar b) Corpo de prova de biomassa de cana – de – açúcar após ensaiado à compressão axial	88
Figura 15 - Difratoogramas de raios x para o bambu mossô.....	91
Figura 16 - Difratoogramas de raios x para a cana-de-açúcar	92
Figura 17 - Curvas de hidratação para os pré-tratamentos do bambu mossô e pasta de referência.....	96
Figura 18 - Curvas de hidratação para os pré-tratamentos da cana-de-açúcar e pasta de referência.....	98
Figura 19 - Curvas de hidratação para os pré-tratamentos da cana-de-açúcar	98

Figura 20 - Resistência à compressão aos sete dias para os compósitos com biomassa de bambu mossô com os diferentes pré-tratamentos e com 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega	101
Figura 21 - Resistência à compressão aos sete dias para os compósitos com biomassa de cana-de-açúcar com os diferentes pré-tratamentos e com 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega	103
Figura 22 - Relação entre a absorção de água e o índice de vazios dos compósitos com biomassa de bambu mossô.....	107
Figura 23 - Relação entre a absorção de água e o índice de vazios dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar	109
Figura 24 - Curvas de hidratação da pasta, e do compósito a base de biomassa bambu mossô tratada com água fria e adição de escória de alto-forno à carvão vegetal.....	112
Figura 25 - Resistência à compressão dos compósitos feitos com escória de alto-forno	114
Figura 26 - Corpos de prova de ligação interna após ensaiados	123
Figura 27 - Painel cimento-biomassa vegetal com bambu mossô, ampliado 1000 vezes.....	124
Figura 28 - Painel cimento-biomassa vegetal com bambu mossô e escória de alto-forno, ampliado 1000 vezes	124

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos básicos de Cimento Portland e suas especificações	26
Tabela 2 - Teores dos componentes do cimento Portland de alta resistência inicial	27
Tabela 3 - Teores de carboidratos no bagaço de cana-de-açúcar	30
Tabela 4 - Constituintes aproximados de madeiras de coníferas e folhosas.	31
Tabela 5 - Classificação segundo o índice de inibição.....	40
Tabela 6 - Aditivos comumente utilizados para concreto	44
Tabela 7 - Composição das escórias de alto-forno no Brasil	47
Tabela 8 - Relações ideais para traços de painéis cimento – madeira	50
Tabela 9 - Características físicas / mecânicas e composição química do cimento Portland CPV-ARI	53
Tabela 10 - Ensaio de Caracterização química das biomassas	54
Tabela 11 - Traços dos compósitos com biomassa de bambu mossô	61
Tabela 12 - Traços dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar.....	61
Tabela 13 - Traços para os diferentes pré-tratamentos realizados na biomassa de bambu mossô.....	66
Tabela 14- Traços para os diferentes pré-tratamentos realizados na biomassa de cana-de-açúcar	67
Tabela 15 - Traços dos compósitos com biomassa de bambu mossô e escória de alto-forno	69
Tabela 16 - Traço dos painéis cimento-biomassa vegetal	71
Tabela 17 - Parâmetros de aceitação segundo a ISO 8355 (1987) e EN 1058 (2009).....	74
Tabela 18 - Caracterização química das biomassas.....	76
Tabela 19 - Composição química da escória de alto-forno à carvão vegetal	81
Tabela 20 - Finura Blaine	82
Tabela 21 - Valores médios de temperatura, tempo, e variação da temperatura pelo tempo.....	83

Tabela 22 - Resistência à compressão para os compósitos com biomassa de bambu mossô.....	85
Tabela 23 - Resistência à compressão para os compósitos com biomassa de cana-de-açúcar	87
Tabela 24 - Ensaio físicos para os compósitos com biomassa de bambu mossô aos sete dias	89
Tabela 25 - Índices de cristalinidade para o bambu mossô	92
Tabela 26 - Índices de cristalinidade para a cana-de-açúcar	93
Tabela 27 - Valores médios de temperatura, tempo, e índice de inibição para o compósito com biomassa de bambu mossô	94
Tabela 28 - Valores médios de temperatura, tempo, e índice de inibição para o compósito com biomassa de cana-de-açúcar	97
Tabela 29 - Resistência à compressão aos sete dias para os compósitos com biomassa de bambu mossô com os diferentes pré-tratamentos e com 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega (a:c=0,5)	99
Tabela 30 - Resistência à compressão aos sete dias para os compósitos com biomassa de cana-de-açúcar com os diferentes pré-tratamentos e com 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega (a:c = 0,6)	102
Tabela 31 - Índices físicos aos sete dias para os compósitos com biomassa de bambu mossô com os diferentes pré-tratamentos e com 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega	104
Tabela 32- Índices físicos para os compósitos com biomassa de cana-de-açúcar com os diferentes pré-tratamentos e com 0, 3, 6 e 9% de aditivo aos sete dias	108
Tabela 33 - Valores médios de temperatura, tempo e índice de inibição para o compósito com biomassa de bambu mossô tratada com água fria e escória de alto-forno à carvão vegetal	111
Tabela 34 - Resistência à compressão dos compósitos feitos com bambu mossô tratado com água fria e escória de alto-forno (a:c = 0,5) aos quatorze dias.....	113
Tabela 35 - Densidade dos painéis	115
Tabela 36 - Inchamento em espessura em 24 horas para os painéis.....	117

Tabela 37 - Resistência à compressão dos painéis	119
Tabela 38 - Módulo de elasticidade para a resistência à flexão dos painéis	120
Tabela 39 - Módulo de ruptura para a resistência à flexão dos painéis	121
Tabela 40 - Ligação interna dos painéis.....	122

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CPV-ARI	Cimento Portland de alta resistência inicial
ASTM	American Society for Testing and Materials
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CaO	Óxido de cálcio
SiO ₂	Dióxido de silício
NaOH	Hidróxido de sódio
TAPPI	Technical Association of the Pulp and Paper Industry
FRX	Fluorescência de Raios X
Lamir	Laboratório de Análises de Minerais e Rochas
DRX	Difratometria de Raios X
CMCM	Centro Multiusuário de Caracterização de Materiais
ISO	International Organization for Standardization
BS EN	British Standard European Norm
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
MPa	Megapascal

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 OBJETIVO GERAL	19
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
1.3 JUSTIFICATIVA.....	19
2 REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	21
2.1 COMPÓSITO CIMENTO-MADEIRA	21
2.2 MATERIAIS COMPONENTES DO COMPÓSITO DE CIMENTO - MADEIRA ..	22
2.2.1 Cimento Portland.....	22
2.2.1.1 Composição química.....	23
2.2.1.2 Hidratação do cimento.....	24
2.2.1.3 Tipos de cimento	26
2.2.1.4 Cimento Portland de Alta Resistência Inicial – CPV-ARI.....	26
2.2.2 Biomassa vegetal	27
2.2.2.1 Bambu mossô (<i>Phyllostachys pubescens</i>).....	28
2.2.2.2 Cana-de-açúcar (<i>Saccharum officinarum</i>).....	29
2.3 INCOMPATIBILIDADE ENTRE O CIMENTO E A MADEIRA.....	30
2.3.1 Constituintes da Madeira que causam inibição	30
2.3.1.1 Celulose	32
2.3.1.2 Hemiceluloses (polioses).....	32
2.3.1.3 Lignina.....	33
2.3.1.4 Extrativos.....	33
2.3.1.5 Açúcares	34
2.3.2 Causas da inibição	35
2.3.2.1 Absorção	35
2.3.2.2 Precipitação.....	35
2.3.2.3 Complexação	36
2.3.2.4 Nucleação	36

2.3.3 Matriz cimentícia	36
2.3.4 Interação entre o cimento e a Madeira	37
2.3.5 Métodos de avaliação para a utilização da madeira no compósito	38
2.3.6 Cristalinidade.....	40
2.3.7 Fatores que afetam a interação.....	42
2.4 TRATAMENTOS PARA MELHORAR A COMPATIBILIDADE ENTRE O CIMENTO E A MADEIRA	42
2.4.1 Extração com água quente e fria.....	43
2.4.2 Extração com solução alcalina	43
2.4.3 Aditivos químicos	43
2.4.4 Injeção de CO ₂	43
2.5 ADITIVOS	44
2.5.1 Aditivos aceleradores de pega	45
2.5.2 Aditivos em compósitos cimento-madeira	45
2.6 ESCÓRIA DE ALTO-FORNO À CARVÃO VEGETAL.....	46
2.6.1 Índice de hidráulicidade.....	47
2.6.2 Utilização de materiais cimentício em compósitos cimento-madeira.....	48
2.7 PAINÉIS CIMENTO-MADEIRA	48
3 MATERIAIS E MÉTODOS	51
3.1 FASE 1: ESTUDO PRELIMINAR – CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS E ANÁLISE DA INTERAÇÃO ENTRE O CIMENTO PORTLAND E AS BIOMASSAS VEGETAIS (BIOMASSA DE BAMBU MOSSÔ E BIOMASSA DE CANA-DE-AÇÚCAR).....	51
3.1.1 Caracterização dos materiais utilizados na pesquisa.....	52
3.1.2 Aglomerante	52
3.1.3 Biomassa vegetal	53
3.1.4 Caracterização química da biomassa.....	53
3.1.4.1 Preparação das amostras	54
3.1.4.2 Teor de umidade	54
3.1.4.3 Extrativos totais	55

3.1.4.4 Lignina.....	56
3.1.4.5 Solubilidade em água quente e em água fria	56
3.1.4.6 Solubilidade em Hidróxido de sódio	57
3.1.4.7 Teor de cinzas	58
3.1.4.8 pH.....	58
3.1.5 Caracterização física da biomassa vegetal	59
3.1.6 Índice de cristalinidade	59
3.1.7 Escória de alto-forno à carvão vegetal	59
3.1.8 Caracterização da escória de alto-forno à carvão vegetal.....	59
3.1.9 Ensaio de inibição	60
3.1.10 Definição dos traços para o compósito cimento-biomassa vegetal	61
3.1.11 Ensaios físicos	62
3.1.12 Ensaio mecânico	63
3.1.13 Definição do traço	64
3.2 FASE 2: ANÁLISE DO PRÉ-TRATAMENTO NA BIOMASSA, ATRAVÉS DA AVALIAÇÃO DA INTERAÇÃO ENTRE O CIMENTO PORTLAND E AS BIOMASSAS VEGETAIS TRATADAS E ADITIVO ACELERADOR DE PEGA	64
3.2.1 Pré-tratamento da biomassa vegetal.....	64
3.2.2 Aditivo acelerador de pega.....	65
3.2.3 Definição do teor de aditivo acelerador de pega	65
3.2.4 Traços dos compósitos.....	66
3.2.5 Ensaio mecânico	68
3.2.6 Índice de cristalinidade	68
3.2.7 Ensaio de inibição	68
3.2.8 Ensaios físicos	68
3.3 FASE 3: ESTUDO DA ADIÇÃO DE ESCÓRIA DE ALTO-FORNO À CARVÃO VEGETAL	68
3.3.1 Teores de escória de alto-forno à carvão vegetal	69
3.3.2 Ensaio de inibição	70

3.3.3 Ensaio mecânico	70
3.4 FASE 4: PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DOS PAINÉIS DE CIMENTO PORTLAND REFORÇADOS COM BIOMASSA VEGETAL E ADIÇÃO DE ESCÓRIA DE ALTO-FORNO.....	70
3.4.1 Definição dos traços	71
3.4.2 Propriedades físicas	72
3.4.3 Propriedades mecânicas	73
3.4.4 Microscopia eletrônica de varredura – MEV	74
3.4.5 Requisitos de normas.....	74
3.4.6 Análise estatística dos dados	75
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	76
4.1 FASE 1: ESTUDO PRELIMINAR – CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS E ANÁLISE DA INTERAÇÃO ENTRE O CIMENTO PORTLAND E OS RESÍDUOS VEGETAIS (BIOMASSA VEGETAL DE BAMBU E BIOMASSA VEGETAL DE CANA-DE-AÇÚCAR)	76
4.1.1 Caracterização da biomassa de bambu mossô e de cana-de-açúcar.....	76
4.1.1.1 Índice de cristalinidade	79
4.1.2 Caracterização da escória de alto-forno.....	80
4.1.2.1 Espectroscopia por fluorescência de Raios X	80
4.1.2.2 Distribuição granulométrica e Finura Blaine	82
4.1.2.3 Difração de Raios X.....	82
4.1.3 Ensaio de inibição	83
4.1.4 Ensaio mecânico	85
4.1.5 Ensaios físicos	88
4.1.6 Definição do traço	90
4.2 FASE 2: ANÁLISE DO PRÉ-TRATAMENTO NA BIOMASSA, ATRAVÉS DA AVALIAÇÃO DA INTERAÇÃO ENTRE O CIMENTO PORTLAND E AS BIOMASSAS VEGETAIS PRÉ-TRATADAS E ADITIVO ACELERADOR DE PEGA	91
4.2.1 Índice de cristalinidade.....	91
4.2.2 Ensaio de inibição	93

4.2.3 Ensaio mecânicos	99
4.2.4 Ensaio físicos	104
4.2.5 Definição do traço	110
4.3 FASE 3: ESTUDO DA ADIÇÃO DE ESCÓRIA DE ALTO-FORNO À CARVÃO VEGETAL	110
4.3.1 Ensaio de inibição	110
4.3.2 Ensaio mecânico	113
4.4 FASE 4: PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DOS PAINÉIS DE CIMENTO PORTLAND REFORÇADOS COM BIOMASSA VEGETAL E ADIÇÃO DE ESCÓRIA DE ALTO-FORNO.....	115
4.4.1 Densidade	115
4.4.2 Inchamento em espessura	117
4.4.3 Resistência à compressão	118
4.4.4 Resistência à flexão: Módulo de elasticidade - MOE e Módulo de ruptura -MOR	120
4.4.5 Ligação interna.....	122
4.4.6 Microscopia eletrônica de varredura - MEV.....	123
5 CONCLUSÃO	126
REFERÊNCIAS.....	128
APÊNDICE A - ANOVA.....	141

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui características que possibilitam a produção agrícola, a vasta extensão territorial combinada com a oferta abundante de sol e água, acabam por tornar o país o quinto maior produtor agrícola do mundo. Segundo dados do Sistema Nacional de Informações Florestais (SNIF, 2016), foram extraídos 283.445 mil m³ de madeira e produzidas cerca de 1.932.741 toneladas de resíduos de madeira pela indústria madeireira no ano de 2013, possibilitando a utilização como matéria-prima para a produção de componentes construtivos.

De acordo com Kasim e Zeynal (2015) em vários países a indústria madeireira gera diversos resíduos, estes resíduos podem agravar a poluição, assim o estudo da utilização de fibras vegetais em compósitos cimentícios é de extrema importância.

Estes resíduos constituem importante fonte de matéria-prima para a produção de componentes construtivos, possibilitando a utilização como reforço de matrizes cimentícias. Estes tem despertado grande interesse devido ao baixo custo, disponibilidade, economia de energia e uma solução no que se refere as questões ambientais. O emprego em telhas, placas e componentes pré-fabricados pode representar significativa contribuição para o crescimento da infraestrutura dos países em desenvolvimento (SAVASTANO E SANTOS, 2008).

Entre os materiais produzidos com fibras vegetais, tem se os painéis de cimento-madeira. Estes combinam partículas de madeira com aglomerante de origem mineral, como exemplo, o cimento Portland, aditivo e água. Segundo Moslemi e Pfister (1987) estes painéis possuem alta resistência ao fogo, ao ataque de agentes xilófagos (insetos e fungos), a intempéries e bom isolamento acústico. Porém, apresentam uma dificuldade para a sua produção: os componentes orgânicos das fibras afetam o processo de cura do cimento. Esse efeito inibitório que algumas espécies de madeira exercem sobre cimento deve-se ao teor e o tipo de extrativos que estas possuem (JORGE *et al*, 2004; MACÊDO *et al*, 2012).

Além da madeira, outros tipos de fibras podem ser utilizados para a produção de painéis de cimento-madeira, como bagaço de cana-de-açúcar, bambu, casca de arroz, fibras de coco, dentre outras.

O bambu vem sendo utilizado devido às vantagens como: o crescimento rápido, fácil acessibilidade, propriedades mecânicas, entre outras. Do ponto de vista físico-mecânico, quando incorporado em painéis apresenta vantagens como aumento das propriedades de resistência, elasticidade e estabilidade dimensional (HIZIROGLU *et al*, 2005).

Segundo dados da União da Indústria da Cana-de-açúcar, na safra 2015/2016 foram produzidas 667 mil toneladas de cana-de-açúcar, sendo que após o processamento desta, seja para a produção de açúcar ou etanol, em média 25 a 30% torna-se bagaço, e deste percentual, 60 a 90% é utilizado para a cogeração de energia, restando um percentual que pode ser utilizado em outras atividades, como exemplo desenvolvimento de materiais de construção.

Conjuntamente tem-se a produção do cimento, na qual são consumidos 2% de toda a energia global, e lançados 5% de dióxido de carbono (CO₂) do planeta, liberando também óxido de enxofre, óxido de nitrogênio, monóxido de carbono e compostos de chumbo, substâncias poluentes da atmosfera (MDIC, 2016).

Para a produção de uma tonelada de cimento, é liberada, em média, uma tonelada de CO₂ na atmosfera, assim, para a produção de cimento Portland é eliminada uma quantidade considerável de CO₂ no ambiente (AITCIN e MINDESS, 2011).

Em muitas atividades industriais são gerados resíduos que possuem propriedades que permitem sua utilização em substituição ao cimento Portland, como a escória de alto-forno à carvão vegetal. A escória, quando granulada, apresentam atividades hidráulicas, ou seja, reage na presença de água, possibilitando assim, seu uso como adição no cimento ou diretamente no concreto (MASSUCATO, 2005).

Tendo por base o exposto acima, o enfoque principal desta pesquisa é o desenvolvimento de painéis de cimento-biomassa vegetal, com utilização de biomassa de bambu mossô, biomassa de cana-de-açúcar e escória de alto-forno à carvão vegetal.

1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a viabilidade da produção de painéis de cimento reforçados com biomassa vegetal de bambu mossô (*Phyllostachys pubescens*), cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e escória de alto-forno à carvão vegetal.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Caracterizar a biomassa de bambu mossô, biomassa de cana-de-açúcar e a escória de alto-forno à carvão vegetal;
- ✓ Analisar a interação entre o cimento e os resíduos de bambu mossô e cana-de-açúcar;
- ✓ Avaliar o efeito de pré-tratamentos nas partículas e aditivo químico sobre a compatibilidade entre a biomassa e o cimento Portland;
- ✓ Avaliar o efeito da adição escória de alto-forno à carvão vegetal ao compósito, e;
- ✓ Avaliar as propriedades físicas e mecânicas dos painéis de cimento Portland reforçados com a biomassa de bambu mossô ou cana-de-açúcar e com substituição do cimento pela escória de alto-forno à carvão vegetal.

1.3 JUSTIFICATIVA

A grande utilização de recursos naturais para a produção de materiais de construção civil, as preocupações com as questões ambientais, entre outros fatores, acabam por gerar a necessidade do desenvolvimento de novos materiais, bem como a utilização e reaproveitamento de resíduos. Dentro deste cenário, temos a biomassa vegetal e a escória de alto-forno.

A biomassa vegetal é fonte inesgotável, renovável e com grande disponibilidade de recursos naturais, apresentando-se na forma de resíduos industriais (serragem, maravalhas, cavacos, talos de frutas, etc), agroindustriais (bagaço de cana-de-açúcar, casca e palha de cereais), ou partículas obtidas no meio rural por meio da desintegração mecânica de colmos (bambu) (MESA - VALENCIANO, 2004).

Segundo Cheumani *et al* (2011) os compósitos cimento-madeira também podem ser preparados a partir de fibras agrícolas não madeireiras (sisal, o bambu, o linho, etc) e outros resíduos lignocelulósicos (bagaço, palha de trigo, jornal, entre outros), estes resíduos não madeireiros e lignocelulósicos são denominados biomassa.

Para Garcez *et al* (2016) a utilização de resíduos agroindustriais na matriz cimentícia é favorável pois além de apresentarem menor densidade, são recursos renováveis e com baixo gasto de energia para a produção.

Compósitos desenvolvidos a partir de biomassa vegetal apresentam características como baixa massa específica, baixa condutividade térmica, resistência ao fogo, impermeabilidade e resistência mecânica, mostrando-se adequado o seu uso em painéis (PIMENTEL *et al*, 2006).

Garcez *et al* (2016) ressaltam ainda, que devido à grande produção de toras de madeira no Brasil, conseqüentemente, há uma grande geração de resíduos, que se descartados incorretamente, causam danos ambientais. Desta forma, a utilização deste resíduo é uma forma econômica e ambientalmente viável para a produção de materiais de construção civil.

Os aglomerantes com base no cimento Portland são muito utilizados atualmente, porém estes apresentam algumas desvantagens como: lançamento de CO₂ na atmosfera e alto consumo de recursos naturais para a sua produção, confirmando assim, a necessidade da busca por novos materiais cimentícios. (ALONSO *et al*, 2001).

Dentro destes materiais, temos a escória de alto-forno ácida, que é descartada devido a sua composição química não ser favorável à sua utilização como material cimentício, gerando assim, grandes quantidades de resíduo no ambiente.

O estudo da compatibilidade entre a biomassa vegetal com o cimento Portland, e a substituição deste por material cimentício alternativo, tornam se importantes devido as propriedades dos materiais gerados.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será realizada uma revisão da literatura sobre os assuntos pertinentes ao desenvolvimento da pesquisa em questão. Inicialmente será explanado sobre os compósitos de cimento-madeira, seu histórico, vantagens, desvantagens, materiais constituintes e incompatibilidade entre a madeira e o cimento, visando assim, a sua utilização em painéis para a construção civil.

Após, será abordado o uso de escória de alto-forno como material cimentício alternativo, apresentando sua origem e composição química, que permite a utilização desta como aglomerante. Finalizando, como uma revisão sobre painéis de cimento-madeira.

2.1 COMPÓSITO CIMENTO-MADEIRA

Materiais compósitos são aqueles que apresentam em sua constituição dois ou mais componentes que possuem propriedades físicas / químicas distintas, em geral, a junção destes gera um material que possui propriedades superiores, quando comparado aos materiais originais, de forma isolada (VASILIEV; MOROZOV, 2001).

Segundo Jones (1975) os compósitos podem ser divididos em três categorias: compósitos com fibras, no qual as fibras se encontram distribuídas na matriz cimentícia; compósitos laminados que consistem em várias camadas de materiais diferentes, e compósitos particulados, onde as partículas estão inseridas na matriz.

Compósito de madeira-cimento é gerado a partir da união de partículas de madeira ou fibras com pasta de cimento ou argamassa. A parte orgânica da composição, ou seja, a madeira e as fibras, podem ser fibras agrícolas não madeireiras, assim como outros resíduos lignocelulósicos (MOSLEMI, 1997).

De acordo com Frybort *et al* (2008), a utilização de cimento ligado à madeira vem sendo estudada a mais de cem anos, porém sua utilização em escala industrial começou a partir da década de 1930. No entanto, as inovações relevantes no ramo ocorreram nos últimos 40 anos.

Conforme Valenzuela (1989 *apud* Grandi, 1995) compósitos de madeira com matriz cimentícia foram citados pela primeira vez 1908, todavia, a fase de

significativo desenvolvimento se deu após a Segunda Guerra Mundial, sendo que em 1960, as indústrias que produziam este compósito se encontravam em mais de 28 países.

Atualmente, nos países em desenvolvimento, estes painéis têm sido utilizados para a construção de alojamentos de baixo custo, devido ao seu custo relativamente inferior, uma vez que a madeira utilizada é resultante do rejeito das serrarias, ao pequeno investimento de produção e tecnologia simples, ao baixo peso de placas, que facilita manuseio sem a utilização de guindastes e pelo fato de não liberar compostos orgânicos voláteis (FAN, 2012).

Os painéis de cimento madeira é objeto de estudo de vários pesquisadores devido as suas características como: durabilidade, estabilidade dimensional, resistência à absorção de água, rigidez, resistência ao fogo, bom isolante acústico e térmico, resistência à degradação biológica, baixo custo de produção, além de auxiliar na reutilização de resíduos de madeira (DEL MENEZZI, 2007; PEHANICH *et al*, 2004; FAN *et al*, 2012).

Segundo Krüger *et al* (2009), quando relacionado ao concreto, compósitos de madeira-cimento apresentam baixa densidade, e quando comparado com elementos de madeira convencionais, estes apresentam desempenho superior em relação ao intemperismo, fogo, mofo e resistência à insetos.

A principal desvantagem é a interação entre a madeira e o cimento. A madeira é um material lignocelulósico, e está suscetível à degradação em ambiente de alta alcalinidade, tal como ocorre na pasta do cimento (HACHMI e CAMPBELL, 1989; MOSLEMI, 1989). Substâncias como hemiceluloses, amidos, açúcares, fenóis, entre outros extrativos, podem inibir o processo de hidratação do cimento.

2.2 MATERIAIS COMPONENTES DO COMPÓSITO DE CIMENTO - MADEIRA

2.2.1 Cimento Portland

Segundo Mehta e Monteiro (2008), cimento é um material seco, finamente pulverizado, que por si só não é considerado aglomerante, porém quando em contato com água, apresenta reações químicas entre os minerais do cimento e a

água, desenvolvendo assim, propriedade de aglomerante como resultado do processo de hidratação. Quando os produtos da hidratação do cimento ficam estáveis em ambiente aquoso, este é denominado hidráulico, o representante mais comumente utilizado desta categoria em concretos, é o cimento Portland, que é constituído essencialmente de silicatos de cálcio reativos, sendo que estes são responsáveis por sua característica adesiva e por sua estabilidade em meio aquático.

Os constituintes primários do cimento Portland são os silicatos de cálcio, portanto, a matéria-prima para a produção do cimento deve apresentar uma mistura de cálcio e sílica, que contenha quatro óxidos principais para a produção do clínquer: óxido de cálcio (CaO), dióxido de silício (SiO_2), óxido de alumínio ou alumina (Al_2O_3) e óxido férrico ou hematita (Fe_2O_3), dosada em proporções adequadas (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

O processo de fabricação do cimento consiste, basicamente, em moer esta matéria-prima, misturá-la e queimá-la em forno rotativo a uma temperatura de 1450°C , quando o material é fundido, originando assim, o clínquer, este é resfriado e finamente moído (NEVILLE, 1982).

A etapa de moagem ocorre em moinhos de bolas, onde é moído juntamente com o clínquer, aproximadamente, 5% de gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ou sulfato de cálcio (CaSO_4), com intuito de controlar as reações iniciais de pega e endurecimento do cimento (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

2.2.1.1 Composição química

Segundo Neville (1982), as substâncias principais para a produção do cimento são o calcário, sílica, alumina e o óxido de ferro, estas reagem entre si no forno, originando uma série de produtos mais complexos, e, com exceção de um pequeno resíduo de calcário não combinado, é alcançado um estado de equilíbrio químico. No entanto, o equilíbrio não se mantém durante o resfriamento, e a velocidade de resfriamento, irá afetar o grau de cristalização e a quantidade de material amorfo presente no clínquer resfriado. Porém, considera-se o cimento em equilíbrio congelado, ou seja, os produtos, depois de resfriados, reproduzem o equilíbrio existente à temperatura de clinquerização.

Geralmente, quatro compostos são considerados os componentes principais do cimento Portland, sendo estes apresentados no Quadro 1.

Composto	Constituição	Abreviação
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Ferroaluminato tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

Quadro 1 - Principais compostos do Cimento Portland

Fonte: Adaptado de Neville (1982)

Os silicatos do cimento não são compostos puros, pois contêm óxidos secundários. Esses influenciam de forma significativa nos agrupamentos atômicos, na forma cristalina e nas propriedades hidráulicas dos silicatos. Dentre os compostos secundários, temos como exemplo óxido de magnésio (MgO), dióxido de titânio (TiO_2), óxido de manganês (Mn_2O_3), óxido de potássio (K_2O) e óxido de sódio (Na_2O). Entre os compostos secundários, temos dois que são conhecidos como álcalis (K_2O e Na_2O), estes reagem com alguns agregados convencionais, causando a desintegração do concreto e a redução de suas características mecânicas (NEVILLE, 1982).

2.2.1.2 Hidratação do cimento

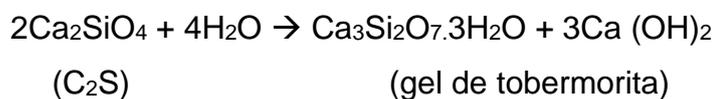
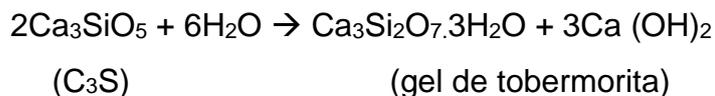
Quando o cimento Portland é hidratado, os compostos que formam este reagem com a água para atingir estados estáveis de baixa energia, liberando energia na forma de calor, ou seja, as reações de hidratação do cimento são exotérmicas (MEHTA *et al*, 1994).

O cimento Portland é constituído por uma mistura heterogênea de vários compostos, o processo de hidratação deste, consiste na ocorrência de reações simultâneas dos compostos anidros com água, porém estes compostos não hidratam com a mesma velocidade. Os aluminatos hidratam mais rapidamente que os silicatos. Sendo que as reações de hidratação envolvendo os aluminatos são responsáveis pelo enrijecimento (perda de consistência) e a pega (solidificação) da pasta do cimento Portland (MEHTA *et al*, 1994).

A reação do C_3A com a água é imediata, para desacelerar esta reação, é adicionado gipsita ao cimento. Uma vez que a gipsita e os álcalis entram em solução rapidamente, a solubilidade do C_3A é diminuída na presença de íons hidroxila, álcalis e sulfato. Em soluções saturadas com íons cálcio e hidroxila, o primeiro cristaliza-se como pequenas agulhas prismáticas, denominado etringita, o monossulfato cristaliza-se como placas hexagonais delgadas. Devido à elevada relação sulfato/aluminato na fase aquosa durante a primeira hora de hidratação, a etringita é o primeiro hidrato a cristalizar-se (MEHTA *et al*, 1994).

Enquanto isso, a hidratação do C_3S e do βC_2S acaba por produzir uma família de silicatos de cálcio hidratados, estruturalmente similares, porém variam quanto à relação cálcio/sílica e ao teor de água quimicamente hidratada.

Quando hidratados, estes formam um sólido poroso que possui características e um gel rígido, sendo este referido como gel de tobermorita, conforme apresentado abaixo.



Considerando que a composição química dos silicatos de cálcio hidratados em pastas de cimento varia com a relação água/cimento, temperatura e a idade de hidratação, tornou-se mais comum referir-se a esses hidratos simplesmente como C-S-H.

Com a evolução dos processos químicos de hidratação do cimento, ocorre uma evolução, também, dos aspectos físicos do cimento como enrijecimento, pega e endurecimento. Com a perda da água livre do sistema, resultando na formação dos produtos de hidratação, como exemplo, etringita e C-S-H, e evaporação fazem com que a pasta enrijeça e finalmente, atinja a pega e o endurecimento. O progressivo preenchimento dos espaços vazios na pasta com os produtos da reação resulta na redução da porosidade, permeabilidade e no aumento da resistência (MEHTA, MONTEIRO, 2008).

2.2.1.3 Tipos de cimento

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2016), o mercado brasileiro apresenta 11 tipos básicos de cimento Portland, estes são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Tipos básicos de Cimento Portland e suas especificações

Nome Técnico – Sigla	Adições			
	Escória	Pozolana	Fíler	Materiais carbonáticos
Cimento Portland Comum - CP I (NBR 5732)	-	-	-	-
Cimento Portland Comum com Adição - CP I-S (NBR 5732)	0% – 5%	0% – 5%	0% - 5%	0% – 5%
Cimento Portland Composto com Escória - CP II-E (NBR 11578)	6% - 34%	-	-	0% - 10%
Cimento Portland Composto com Pozolana - CP II-Z (NBR 11578)	-	6% - 14%	-	0% - 10%
Cimento Portland Composto com Fíler - CP II-F (NBR 11578)	-	-	6% - 10%	0% - 10%
Cimento Portland de Alto-Forno - CP III (NBR 5735)	35% - 70%	-	-	0% - 5%
Cimento Portland Pozolânico - CP IV (NBR 5736)	-	15% - 50%	-	0% - 5%
Cimento Portland de Alta Resistência Inicial - CP V-ARI (NBR 5733)	-	-	-	0% - 5%
Cimento Portland Resistente a Sulfatos - RS (NBR 5737)	-	-	-	-
Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação - BC (NBR 13116)	-	-	-	-
Cimento Portland Branco - CPB (NBR 12989)	-	-	-	-

Fonte: Adaptado de Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP (2002)

2.2.1.4 Cimento Portland de Alta Resistência Inicial – CPV-ARI

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas – EB-2: Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CPV-ARI), este é obtido pela moagem de

clínquer Portland, constituído em sua maior parte de silicatos de cálcio hidráulicos, ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a esta mistura materiais carbonáticos em teor especificado, sendo que os teores dos componentes do CPV-ARI são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Teores dos componentes do cimento Portland de alta resistência inicial

Sigla	Componentes (% em massa)	
CPV-ARI	Clínquer + sulfatos de cálcio	Material carbonático
	100 – 95	0 – 5

Fonte: NBR 5733 (EB-2) (ABNT 1991)

Este tipo de cimento tem por particularidade atingir altas resistências nos primeiros dias de aplicação, este fato é conseguido pela utilização de uma dosagem diferente de calcário e argila na produção do clínquer, bem como pela moagem mais fina do cimento, de modo que, ao reagir com a água, ele adquira elevadas resistências, com maior velocidade (ABCP, 2002).

2.2.2 Biomassa vegetal

O termo biomassa refere-se a qualquer tipo de matéria orgânica considerada renovável, de origem vegetal, ou procedente da transformação natural ou artificial da mesma. Tem diversas origens, como vegetais lenhosos e não lenhosos, resíduos orgânicos (agrícolas, florestais, urbanos e industriais) e bioflúidos, como óleos vegetais (LOPES, 2012).

Segundo Corradini (2014) biomassa vegetal pode ser apresentada na forma de resíduos industriais como a serragem, cavacos ou maravalhas e talos de frutas; ou agroindustriais como o bagaço da cana-de-açúcar, casca de arroz e palhas de outros cereais. Sendo as partículas provenientes da desintegração mecânica de colmos, como o bambu, consideradas também como biomassa.

Este tipo de compósito que apresenta biomassa em sua composição é denominado compósito de biomassa vegetal-cimento, uma série de propriedades se torna inerente com a utilização da biomassa, como comportamento mecânico,

baixa massa específica, resistência ao fogo, isolamento térmico e impermeabilidade (PIMENTEL *et al*, 2006).

2.2.2.1 Bambu mossô (*Phyllostachys pubescens*)

Para suprir a necessidade de materiais renováveis, uma fonte é a utilização de subprodutos agrícolas, tais como casca de arroz, fibras de coco, sisal e bambu, proporcionando assim, a minimização do consumo de energia, a conservação dos recursos naturais não renováveis, reduzindo a poluição e conservando o ambiente saudável. O bambu é um material que apresenta vantagem econômica, uma vez que atinge o seu pleno crescimento em apenas alguns meses e a sua resistência mecânica máxima em apenas alguns anos. Além disso, existe em abundância em regiões tropicais e subtropicais do globo (GHAVAMI, 2005).

Segundo Ghavami (2005) sua utilização em países sul-americanos é realizada há vários séculos. No Brasil, seu uso no início, limitava-se à construção de andaimes e habitações simples, porém, agora os estudos estão focados no desenvolvimento de uma metodologia para sua aplicação em estruturas espaciais e como reforço em concreto.

Bambu pertence à família das gramíneas, subfamília *Bambusoideae*. O colmo, em geral, é um revestimento cilíndrico, que é dividido por diafragmas transversais nos nós. A casca apresenta elevada força na direção paralela às fibras e baixa força perpendicular, é considerada um material lignocelulósico não madeireiro, de rápido crescimento (SEEMA *et al*, 1992; GHAVAMI, 2005, SUMARDI *et al*, 2007; SUMARDI *et al*, 2008; SHAO *et al*, 2008, YU, 2007).

O bambu é caracterizado como um recurso natural renovável, biodegradável, energeticamente eficiente e apresenta grande potencial para ser utilizado como material de construção, porém suas aplicações foram limitadas devido a sua instabilidade dimensional, adesivos inadequados para sua utilização, conexões difíceis devido à sua forma irregular, e, rápida deterioração devido à constituição anatômica rica em amido (YUSHUN *et al*, 2012).

Sua utilização em compósitos apresenta vantagens em termos de aumento das propriedades de resistência, elasticidade e da estabilidade dimensional. Nos países asiáticos, é amplamente utilizado para a construção de

moradias, fabricação de móveis e utensílios para a vida diária, devido a sua alta resistência e dureza superficial, e, flexibilidade (HIZIROGLU *et al.*, 2005; SUMARDI *et al.*, 2007; OBATAYA *et al.*, 2007). Segundo Janssen (1981) *apud* Yu (2007), o bambu é composto por, em média, 55% de celulose, 25% de lignina e 25% de hemiceluloses.

A espécie de bambu utilizada na pesquisa foi Bambu Mossô (*Phyllostachys pubescens*). Esta pode chegar até 35 metros de altura, e diâmetro que varia entre 5 – 15 cm (YU, 2007).

Autores como Sudin e Swamy (2006), Yu *et al.* (2013), Okubo *et al.* (2003), Verma e Chariar (2011), Beraldo e Pereira (2007) entre outros, pesquisaram a utilização de bambu para reforço em concreto e compósito cimento-madeira.

2.2.2.2 Cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*)

Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento – Conab, a produção brasileira de cana-de-açúcar para a safra 2015/16 está estimada em 665,6 milhões de toneladas, enquanto a produção de etanol foi de 30,5 bilhões de litros. A transformação de cana-de-açúcar em etanol origina dois subprodutos principais: a energia térmica e o bagaço (LUZ *et al.*; 2010). No caso do bagaço, este pode ser utilizado como reforço para compósitos.

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), pertence à família das gramíneas, e o bagaço é o resíduo lignocelulósico, obtido após moagem e extração do caldo, sendo composto por fibras, água e sólidos. Estas fibras são formadas por fibrilas compostas por moléculas de celulose e unidas por lignina e hemiceluloses. Esta composição química auxilia na estabilidade aos efeitos de degradação dos compósitos (SILVA, 2010; HO e VASIL, 1983; BILBA, 2003; NAZERIAN, 2013).

Além disso, segundo Nazerian (2013) a baixa densidade do bagaço e sua alta resistência à compressão são características favoráveis à sua utilização em compostos cimento-madeira. A composição química da cana-de-açúcar é de, em média, 40% de celulose, 23% de lignina e 27% de hemiceluloses (CABRAL *et al.*, 2015; BILBA *et al.*, 2013).

O bagaço da cana-de-açúcar apresenta 43 a 52 % de fibras, 46 a 52% de água, e pequenas quantidades de sólidos solúveis (sacarose, cera) e não solúveis

(terra, pedras). Após a moagem do bagaço, este apresenta 55 a 60% de fibras, 30 a 55% de medula e 10 a 15% de finos, terra e solúveis. Os constituintes solúveis em água, como a sacarose, outros açúcares e polissacarídeos, se apresentam em grandes quantidades, se comparados com as madeiras (SARMIENTO, 1996), conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Teores de carboidratos no bagaço de cana-de-açúcar

Polissacarídeos	% *	%**
Glicose (hexose)	42,9	60,8
Xilose (pentose)	23,1	32,8
Arabinose (hexose)	3,3	4,7
Galactose (hexose)	1,2	1,7
Total	70,5	100

*No bagaço moído, extraído, livre de umidade e não corrigido de cinzas;

**Em relação ao total de carboidratos.

Fonte: Soares e Rossell, 2009

Para Sarmiento (1996) quando a cana-de-açúcar é moída deve-se tomar o cuidado de separar a fração utilizável da cana-de-açúcar, ou seja, a fração que apresenta a menor porcentagem de medula residual, uma vez que a medula é o constituinte que apresenta maior teor de açúcar residual em relação aos demais componentes, o que, por conseguinte, causa maior efeito inibidor sobre a pega do cimento.

Autores como Luz *et al* (2008), Wirawan *et al* (2010), Luz *et al* (2007), Ghazali *et al* (2008), Monteiro *et al* (1998), entre outros, estudaram os efeitos da adição do bagaço de cana-de-açúcar em compósitos cimento-madeira, constatando que esta, sem pré-tratamento algum, afeta o processo de hidratação do cimento.

2.3 INCOMPATIBILIDADE ENTRE O CIMENTO E A MADEIRA

2.3.1 Constituintes da Madeira que causam inibição

Os constituintes orgânicos da madeira podem ser classificados como componentes da parede celular e extrativos. Os componentes da parede celular

desempenham função estrutural dentro da célula e, em grande parte, regulam as propriedades físicas da madeira, estes podem ser classificados em carboidratos e substâncias fenólicas. Os carboidratos são polímeros lineares (polissacarídeos), e representam cerca de 75% das substâncias da madeira, sendo estes compreendidos pela celulose e hemiceluloses. No que se refere às substâncias fenólicas, a principal é a lignina (BODIG E JAYNE, 1993; PETERSON 1984).

Segundo Bodig e Jayne (1993), os extrativos podem alterar o peso específico e o ponto de equilíbrio de umidade, modificando, assim, algumas propriedades físicas da madeira.

A Tabela 4 apresenta a quantidade de celulose, hemiceluloses, ligninas e extrativos presentes em coníferas e folhosas.

Tabela 4 - Constituintes aproximados de madeiras de coníferas e folhosas.

Componentes	Coníferas (%)	Folhosas (%)
Celulose	42 ± 2	45 ± 2
Hemiceluloses	27 ± 2	30 ± 5
Lignina	28 ± 3	20 ± 4
Extrativos	3 ± 2	3 ± 2

Fonte: Sjöström (1993)

De acordo com Biblis e Lo (1968) *apud* Castro (2015) dos componentes orgânicos da madeira, os carboidratos são os que apresentam maior influência negativa sobre a cura do cimento, sendo a glicose e a celulose os considerados mais inibitórios. Nos grupos fenólicos, a lignina e os terpenos não apresentam efeito inibitório, enquanto o tanino, principalmente os hidrolisados, tem grande influência na inibição da pega do cimento, assim como os ácidos orgânicos de alto peso molecular, como os ácidos alifáticos.

Miller e Moslemi (1991) estudaram o efeito de inibição no cimento de 10 substâncias diferentes presentes na madeira. Os resultados apontaram que a celulose, lignina, ácido graxo, resina, esterol e terpeno em concentração menor que 1% não afetam a resistência do produto. O principal causador da inibição foi a glicose, em menor grau temos as hemiceluloses, tanino e ácido acético.

Segundo Karade *et al* (2006) além dos extrativos do material, a composição do teor de cinzas pode influenciar na hidratação do cimento. Este teor de cinzas apresenta quantidade considerável de impurezas orgânicas, dentre

essas impurezas, podem ser encontrados elementos como cálcio e potássio, que podem afetar a fase inicial de hidratação do cimento e a sílica que pode fazer reações pozolânicas com o cimento.

Os componentes inibitórios podem ser divididos em dois grupos: carboidratos de sacarose, e, componentes fenólicos com compostos de catecol ($C_6H_4(OH)_2$) (YASUDA *et al*, 2002).

2.3.1.1 Celulose

A celulose é a principal componente da parede celular, é o material químico mais abundante na natureza. É um polímero glucano, que consiste em cadeias lineares de 1,4- β unidades de anidroglicose ligados. O número de unidades de glicose em uma celulose, ou seja, seu grau de polimerização pode chegar até a 15000 unidades em uma cadeia polimérica, variando de acordo com sua localização no interior da parede celular (BODIG E JAYNE, 1993; PETERSON, 1984). A formação da celulose ocorre devido à eliminação de uma molécula de água.

É considerado um polissacarídeo que se apresenta como um polímero de cadeia linear com comprimento suficiente para ser insolúvel em solventes orgânicos, água, ácidos e álcalis diluídos, à temperatura ambiente, possui uma estrutura organizada e parcialmente cristalina (KLOCK, 2016).

Embora a celulose apresente efeito inibidor na cura do cimento, seus produtos da degradação são, em meio alcalino, desprezíveis na hidratação do cimento (POURCHEZ *et al*, 2006).

2.3.1.2 Hemiceluloses (polioses)

As hemiceluloses são constituídas por misturas de polissacarídeos e óleos como a glicose, manose, galactose, xilose, arabinose, ácido 4-O-metilglucurônico, ácido D-galacturônico, entre outros componentes (PETERSON, 1984).

Esta é responsável por aproximadamente 30% da massa total da parede celular, e seus dois principais compostos são a xilose e a manose. A xilose apresenta-se em maior quantidade nas folhosas e a manose se apresenta em

maior quantidade nas coníferas. Apresenta estrutura amorfa e ramificada, são solúveis em soluções alcalinas e facilmente hidrolisadas por ácidos (BODIG E JAYNE, 1993; PETERSON, 1984).

Segundo Bilba *et al* (2003) o uso isolado de hemiceluloses, exibiu uma completa inibição da cura do cimento, a temperatura da reação manteve-se constante durante as 30 horas avaliadas. A decomposição das hemiceluloses foi um dos fatores que causaram a inibição da cura do cimento, isso porque, quando ocorre a degradação destas, há a formação de frações de baixo peso molecular e solúveis em água, como exemplo, açúcares hemicelulósicos (WEI *et al*, 2002).

2.3.1.3 Lignina

A lignina é um composto aromático constituído por unidades de fenilpropano, morfologicamente é uma substância amorfa e altamente irregular. Durante o desenvolvimento da parede celular, a lignina é o último componente a ser incorporado, aumentando, assim, a rigidez da parede (BODIG E JAYNE, 1993; PETERSON, 1984; FENGEL e WEGENER, 1989). Segundo Bilba *et al* (2003) a lignina não inibe a cura do cimento.

2.3.1.4 Extrativos

Os extrativos são constituintes não-estruturais e podem ser divididos em 3 grupos principais: terpenóides e esteróides, gorduras de graxas e componentes fenólicos (YOUNG, 2008).

Constituem de 4 - 10% do peso seco da madeira. Apresentam uma variedade de compostos orgânicos como gorduras, ceras, alcalóides, proteínas, simples e complexos fenólicos, açúcares simples, pectinas, mucilagens, gomas, resinas, terpenos, amidos, glicosídeos, saponinas, óleos essenciais, entre outros. Contribuem para as propriedades da madeira, como cor, odor e resistência à deterioração (PETERSON, 1984).

Os extrativos são responsáveis pelo aumento do peso específico e pela umidade de equilíbrio da madeira, o que acaba por influenciar algumas propriedades mecânicas na madeira, como cor, odor, sabor, durabilidade e resistência ao ataque de insetos. Também desempenham a função de reserva de

alimento para as árvores. Os tipos e quantidades de extrativos são variáveis dentro de uma espécie e até mesmo dentro da própria árvore (BODIG E JAYNE, 1993).

Tanto a natureza como a quantidade dos extrativos são importantes na utilização da madeira. Algumas vezes os efeitos dos extrativos na utilização da madeira podem ser grandes em relação a sua baixa quantidade (CASTRO, 2015).

Os extrativos podem ser removidos com tratamentos simples, como extração com água fria ou quente, ou com solventes orgânicos, como etanol, tolueno, acetona ou diclorometano (SJÖSTRÖM, 1993).

2.3.1.5 Açúcares

Os açúcares podem ser divididos em dois grupos: redutores e não-redutores. Entre os açúcares redutores pôde-se citar a glicose, lactose, maltose e celobiose, estes são capazes de sofrer oxidação. Já os não-redutores tornam-se redutores somente após sofrer hidrólise, como exemplo, a sacarose, α -metil glicosídeo, rafinose e α , α -trealose (THOMAS; BIRCHALL, 1983).

Os açúcares não-redutores sacarose e rafinose que apresentam 5 anéis são os maiores inibidores da cura do cimento, em menor grau, os açúcares redutores (glicose, lactose, maltose e celobiose) também apresentam poder inibidor. Essa diferença de inibição é explicada pelo fato de que açúcares redutores reagem facilmente em meio alcalino degradando-se e unindo se rapidamente ao cálcio. Já no caso dos açúcares não-redutores, estes são inertes em solução alcalina, com exceção dos açúcares não redutores que possuem 5 anéis, pois estes apresentam uma capacidade intermediária de formar sais com Ca^{2+} e OH^- com estabilidade suficiente para não se degradar (THOMAS; BIRCHALL, 1983).

Ainda segundo os autores, a análise da fase aquosa da hidratação do cimento quando misturado com açúcares apontou um aumento na concentração de Ca^{2+} , OH^- , Si, Al e Fe.

Previte e Grace (1971) estudaram o efeito inibidor na cura do cimento Portland dos monossacarídeos (glicose, frutose, arabinose, xilose e ribose), dos dissacarídeos (maltose, lactose e celobiose), além dos açúcares que não se degradam em meio alcalino: o dissacarídeo sacarose e o trissacarídeo rafinose.

Eles observaram que o peso molecular dos açúcares é um dos fatores que afeta a hidratação do cimento, mas não o único, devendo ser levado em consideração na determinação do potencial de inibição de um açúcar, a taxa de degradação em meio alcalino. Ainda, os sacarídeos além de sofrerem degradação podem se rearranjar e formar outras substâncias (PREVITE; GRACE, 1971).

2.3.2 Causas da inibição

Existem quatro teorias que explicam a influência negativa dos cristais de açúcares da madeira na hidratação do cimento: absorção, complexação, precipitação e nucleação (YOUNG, 1972).

2.3.2.1 Absorção

Açúcares cobrem os grãos do cimento e criam uma camada que impede a absorção de água. Assim, as partículas de cimento perdem a capacidade de coesão e endurecimento (VAICKELIONIS; VAICKELIONIENE, 2003).

Segundo Young (1972) a formação desta camada pode ocorrer por duas formas: ligação entre os grupos carbonilas e hidroxilas com os íons Ca^{2+} e O^{2-} , respectivamente e, por meio de quelação, onde ocorre reação entre íon metálico e compostos orgânicos, na qual o íon metálico fica aprisionado no composto. O cálcio, alumínio, ferro e íons de silício são todos potencialmente capazes de quelar com compostos orgânicos.

Ainda segundo este autor, a absorção dos açúcares ocorre inicialmente na hidratação do C_3A e pode até funcionar como acelerador, mas se a capacidade de absorção do C_3A não for suficiente para imobilizar todo o açúcar este passa a agir como inibidor da hidratação do C_3A .

2.3.2.2 Precipitação

Os inibidores orgânicos formam componentes insolúveis quando em contato com o meio alcalino do cimento. Açúcares e ácidos de alto peso molecular seriam os responsáveis pela formação destes elementos que funcionariam como barreira para o transporte, solubilidade e precipitação da água

durante a cura do cimento. Porém a precipitação não explica a aceleração inicial da reação da cura, acredita-se que esse processo apenas exige maior quantidade de água na reação do que propriamente a inibe (YOUNG, 1972).

Segundo Thomas e Birchall (1983) os açúcares combinam-se com CaO para formar sacarato de cálcio que leva a aumentar a solubilidade da alumina (Al_2O_3) na solução. A precipitação do gel alumina-sílica sem cálcio ocorre cobrindo partículas de cimento, e assim, retardando a hidratação.

2.3.2.3 Complexação

Elementos inibitórios possuem átomos de oxigênio que podem se atrair. Isso indica que pode haver quelação com íons de metal e que a complexação é um importante mecanismo de inibição. A complexação entre os íons e os elementos inibidores pode vir a ser a causa do aumento inicial da reatividade do cimento e do C_3A . Embora haja a complexação com íons de Ca, esta não é forte o suficiente para contribuir na saturação do hidróxido de cálcio durante a hidratação do C_3A (YOUNG, 1972).

2.3.2.4 Nucleação

Inibidores orgânicos podem influenciar a morfologia e a quantidade de cristais de hidróxido de cálcio formado em pastas de C_3S . A inibição da nucleação do cristal de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ocorre naturalmente na presença de íons de Si presente no cimento. O crescimento do cristal é pausado até que ocorra a saturação do $\text{Ca}(\text{OH})_2$. A adição de elementos orgânicos piora a inibição pois estes apresentam-se em maiores quantidades e mais reativos que os íons de Si. Conseqüentemente, há um aumento na quantidade de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ para a retomada do crescimento (YOUNG, 1972).

2.3.3 Matriz cimentícia

A pasta de cimento hidratada apresenta quatro principais fases sólidas: silicato de cálcio hidratado (C-S-H), hidróxido de cálcio (portlandita), sulfoaluminatos de cálcio e grãos de clínquer não hidratados.

Os cristais de hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), representam 20 a 25% do volume de sólidos na pasta de cimento hidratada. Apesar de não contribuir significativamente para a resistência da pasta, este é responsável pela elevada alcalinidade da matriz cimentícia, pH de 12,5 (MEHTA *et al*, 2008; SENFF *et al*, 2005).

Os componentes da madeira podem ser degradados pelo hidróxido de cálcio formado durante a hidratação do cimento. Este ambiente alcalino é capaz de remover parte dos extrativos e dissolver componentes da madeira como as hemiceluloses, causando assim, alterações dimensionais no compósito cimento-madeira (MILLER E MOSLEMI, 1991; FAN *et al*, 1999).

2.3.4 Interação entre o cimento e a Madeira

O termo compatibilidade para compósitos cimento-madeira pode ser compreendido como o grau de endurecimento do cimento quando misturado com água e madeira, ou seja, se o processo químico de endurecimento do cimento não é perturbado ou perturbado numa pequena extensão, diz-se que estes são compatíveis. Caso a presença da madeira afete o endurecimento do cimento, diz-se que estes são incompatíveis (JORGE *et al*, 2004).

Os carboidratos da madeira reagem com o cálcio, alumínio e cátions de ferro, retardando, assim, a reação de hidratação do cimento e reduzindo sua cristalinidade e resistência. (HACHMI; CAMPBELL, 1989). A água presente nos poros da matriz cimentícia apresenta um pH elevado, sendo capaz de quebrar as ligações químicas das fibras de madeira, possibilitando assim, a migração das partículas de madeira para a superfície da pasta (YOUNG, 1970; LIMA, 2009; SILVA *et al*, 2009).

De acordo com Miller e Moslemi (1991), algumas substâncias como resinas e gorduras podem migrar para a superfície durante a secagem da madeira, estas formam uma camada hidrofóbica que reduz as ligações de hidrogênio entre o cimento e a madeira, o que acaba por reduzir a resistência interfacial.

Segundo Hachmi e Moslemi (1989) os extrativos da madeira são os principais responsáveis pela inibição da pega do cimento, dentro destes temos, resinas e ácidos graxos, terpenos e terpenóides, açúcares simples e sais,

compostos fenólicos e compostos alifáticos. Segundo Jorge *et al* (2004) a natureza dos extrativos também influencia no efeito inibidor deste.

Além dos teores de extrativos presentes na madeira, também deve-se levar em consideração o pH destes. Segundo Hachmi e Moslemi (1990), extrativos ácidos podem inibir bem menos que extrativos alcalinos, isso deve à falta de reações complexas entre os íons de cálcio e os extrativos ácidos, já no caso dos extrativos alcalinos, estes acabam por formar complexos permanentes com os íons de cálcio, que impedem os núcleos de atingirem o tamanho crítico necessário para a cristalização do cimento.

Para solucionar o problema de inibição, costuma-se utilizar produtos químicos inorgânicos, por exemplo, aceleradores de pega do cimento ou adotar pré-tratamentos na madeira, como extração aquosa para remover as substâncias inibidoras.

2.3.5 Métodos de avaliação para a utilização da madeira no compósito

As reações de hidratação do cimento são exotérmicas, ou seja, promovem liberação de calor. Medindo-se o total do calor liberado ao longo do tempo, pôde-se monitorar a hidratação do cimento, assim, pôde-se utilizar deste método para analisar a compatibilidade entre o cimento e a madeira, observando-se a sua temperatura das reações de hidratação.

Conforme Hachmi e Campbell (1989), o comportamento de uma curva de calor de hidratação de uma mistura cimento-água-madeira e uma pasta (cimento-água) é indicado na Figura 1.

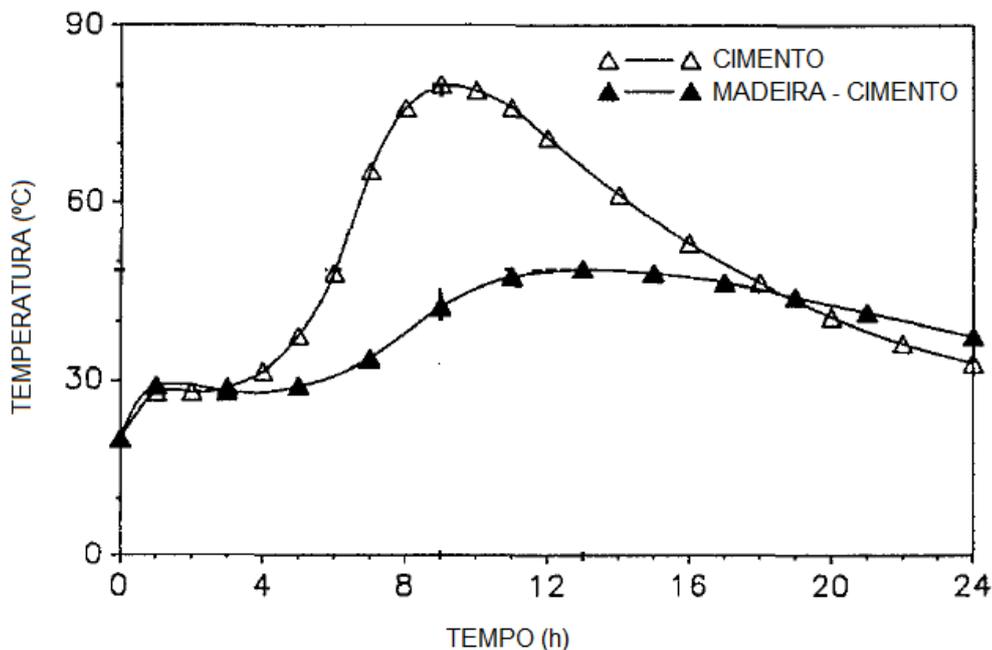


Figura 1 - Curvas de hidratação de misturas de cimento Portland + água + madeira e pasta de cimento Portland
Fonte: Adaptado de Hachmi e Campbell (1989)

A descrição de um índice de compatibilidade foi elaborada por Hofstrand *et al* (1984) *apud* Hachmi *et al* (1990); por meio da Equação (1) que considera as temperaturas máximas das reações de hidratação de misturas que contem e não contem madeira, também levam em consideração as taxas máximas de variação de temperatura no decorrer do tempo, conforme indicado na Equação (1).

$$I = \left[\left(\frac{t_2 - t'_2}{t'_2} \right) \left(\frac{T'_2 - T_2}{T'_2} \right) \left(\frac{S' - S}{S'} \right) \right] * 100 \quad (1)$$

Em que:

t_2 : tempo para atingir a máxima temperatura (cimento – madeira – água);

T_2 : temperatura máxima de hidratação (cimento – madeira – água);

S : taxa máxima de variação de temperatura no decorrer do tempo (cimento – madeira – água);

t'_2 : tempo para atingir a máxima temperatura (pasta);

T'_2 : temperatura máxima de hidratação (pasta);

S' : taxa máxima de variação de temperatura no decorrer do tempo (pasta).

Segundo a Equação (1) a madeira pode ser classificada em quatro categorias, conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Classificação segundo o índice de inibição

Índice de inibição	Classificação
$I < 10$	Baixa Inibição
$I = 10$ a 50	Moderada inibição
$I = 50$ a 100	Alta inibição
$I > 100$	Extrema inibição

Fonte: Okino *et al* (2005)

Sandermann e Kholer (1964) *apud* Hachmi *et al* (1990), elaboram uma classificação quanto à compatibilidade entre o cimento e a madeira, com base na máxima temperatura de hidratação:

Compatível: $T_2 > 60^\circ\text{C}$;

Intermediariamente compatível: $50^\circ\text{C} < T_2 < 60^\circ\text{C}$

Incompatível: $T_2 < 50^\circ\text{C}$.

Segundo Lee e Hong (1986) *apud* Lima (2009) a compatibilidade entre o cimento e a madeira também pode ser mensurada por um indicador baseado em resultados de ensaios para a determinação da resistência à compressão axial de corpos de prova cilíndricos feitos com um molde padrão da ASTM, para a determinação deste indicador os corpos de prova foram produzidos com cimento Portland Tipo I (no Brasil este cimento é similar ao cimento Portland Comum, segundo a NBR 5732 – 1991) e como resíduos de madeira das espécies *Southern-pine*, *White-oak*, *Yellow-poplar*, *Sweet-gum* e *Hickory*, na proporção 13:1. Os resultados demonstraram que a resistência à compressão é diretamente proporcional à temperatura máxima de hidratação.

2.3.6 Cristalinidade

O conhecimento da caracterização química de determinada fibra vegetal e seu comportamento são de grande importância, para avaliar compósitos cimentícios à base de fibras vegetais para processos construtivos, como também sua estrutura anatômica, o arranjo cristalino: parte amorfa, parte cristal (celulose), o grau de cristalinidade, pois os mesmos têm grande influência sobre as

características mecânicas dos compósitos (ANJOS, GHAVAMI e BARBOSA, 2002; BERALDO; VIEIRA, 2003)

As fases cristalinas e amorfas das fibras de celulose afetam suas propriedades mecânicas. Quanto maior a cristalinidade, mais elevadas são as propriedades de densidade, rigidez, estabilidade dimensional e resistência (HU; HSIEH, 2001).

Através da técnica de raios x, pôde-se observar que as fibras de celulose apresentam regiões cristalinas (altamente ordenadas) e amorfas (desordenadas). Estas regiões não possuem fronteiras bem definidas, porém há uma transição do arranjo ordenado das cadeias de celulose para um estado desordenado ou amorfo, no qual estas cadeias apresentam uma menor orientação (MACHADO, 2000).

O índice de cristalinidade indica a quantidade de celulose que se encontra em estado cristalino, e é um dos fatores importantes para determinar as propriedades mecânicas dos materiais lignocelulósicos. A partir desse valor pode se inferir se o material é mais ou menos denso, uma vez que quanto mais cristalino é o material, menos espaço vazio terá (BACELLAR, 2010; MARTIN *et al*, 2009).

O índice de cristalinidade foi obtido pelo método de difração de raios x de Segal *et al.* (1959), este é um processo empírico que usa técnicas de ajuste e transmissão, medindo a intensidade de interferência no plano cristalino 002 e o espalhamento amorfo em $2\theta = 18^\circ$. O índice de cristalinidade é dado pela Equação (2).

$$I_c = \left(\frac{I_{002} - I_{am}}{I_{002}} \right) * 100 \quad (2)$$

Em que:

I_c : índice de cristalinidade;

I_{am} : intensidade do mínimo de difração, relacionada à parte amorfa ($2\theta = 18,8^\circ$), e;

I_{002} : intensidade do máximo de difração, relacionada à parte cristalina ($2\theta = 22,4^\circ$).

2.3.7 Fatores que afetam a interação

Existem diversos fatores que podem afetar a interação entre a madeira e matriz cimentícia, conforme os citados abaixo:

- Espécie da madeira (MILLER; MOSLEMI, 1989; FRYBORT *et al*, 2008; FAN *et al*, 2012; NA *et al*, 2014);
- Localização geográfica da madeira (FRYBORT *et al*, 2008);
- Estação do ano em que a madeira é cortada (FRYBORT *et al*, 2008; BERALDO; CARVALHO, 2004);
- Parte da madeira que é utilizado, cerne ou alburno (NA *et al*, 2014);
- Armazenamento da madeira (LEE *et al*, 1987; BERALDO; CARVALHO, 2004, NA *et al*, 2014);
- Tipo de cimento (NA *et al*, 2014; JORGE *et al*, 2004; BERALDO; CARVALHO, 2004);
- Proporção entre o cimento e a madeira (NA *et al*, 2014);
- A idade da madeira (PASCA *et al*, 2010; LEWIS; HARTLEY, 2006);
- Tamanho e geometria das partículas (ZUCCO, 1999);
- Quantidade de açúcares e gomas presentes na madeira (SAMPLE; EVANS, 2004);
- Temperatura ambiente (LIMA, 2009);
- Características físicas e químicas da madeira (HACHMI; MOSLEMI, 1990; HACHMI; CAMPBELL, 1989; JORGE *et al*, 2004, MACÊDO *et al*, 2012);
- Quantidade de água presente na produção do compósito (LIMA, 2009).

2.4 TRATAMENTOS PARA MELHORAR A COMPATIBILIDADE ENTRE O CIMENTO E A MADEIRA

Nem sempre a madeira escolhida apresenta compatibilidade com o cimento, para melhorar esta compatibilidade faz-se o uso de tratamentos na madeira. Dentro destes tratamentos, inclui-se extração dos componentes inibidores, hidrólise alcalina, secagem das partículas, maturação da madeira, além da utilização de aditivos químicos, cimento de alta resistência inicial, cimento

aluminoso, e injeção de CO₂, entre outros (MOSLEMI *et al*, 1983; SIMATUPANG *et al*, 1988 *apud* LIMA, 2009; PEHANICH *et al*, 2004; NA *et al*, 2014).

Estes tratamentos tem por objetivo eliminar os componentes que causam a inibição da pasta do cimento e acelerar a hidratação do cimento para neutralizar o efeito do retardamento da hidratação causado pela presença da madeira (NA *et al*, 2014).

2.4.1 Extração com água quente e fria

O efeito inibitório que algumas madeiras exercem na hidratação do cimento geralmente está associado aos seus extrativos, à extração tem o efeito de reduzir o teor de açúcar, o que acaba por aumentar a compatibilidade (JORGE *et al*, 2014).

2.4.2 Extração com solução alcalina

Muitas vezes também é possível à utilização de soluções alcalinas, como hidróxido de sódio (NaOH) e hidróxido de cálcio (Ca (OH)₂). Segundo Alberto, *et al* (2000) a hidrólise alcalina degrada as hemiceluloses e açúcares, transformando os em substâncias não inibidoras.

2.4.3 Aditivos químicos

Segundo Jorge *et al* (2004), a adição de aditivos químicos que aceleram a cura do cimento proporciona o efeito de melhorar a compatibilidade entre o sistema cimento-água-madeira, e estes podem ser utilizados depois de feita uma extração dos componentes inibidores, melhorando a compatibilidade do sistema.

2.4.4 Injeção de CO₂

Outro método para acelerar o tempo de pega do cimento com a madeira é a injeção de dióxido de carbono (CO₂) gasoso. Quando o CO₂ é injetado na pasta do cimento este é neutralizado pelo silicato de cálcio presente na pasta, resultando em carbonato de cálcio insolúvel, ou seja, este promove o rápido

endurecimento do cimento através da carbonatação de compostos antes solúveis em componentes que são capazes de difundir para fora da madeira e interferir na hidratação do cimento, esta reação faz com que o cimento endureça mais rápido do que a reação normal de hidratação (QI *et al*, 2007; NA *et al*, 2014; QI; COOPER, 2006).

2.5 ADITIVOS

A norma Europeia EN 934-1 (2008) define aditivos como materiais adicionados ao concreto durante sua mistura em quantidade não superior a 5% sobre a massa do cimento, para modificar as propriedades da mistura no estado fresco ou no estado endurecido. A ASTM C 125 (2003) define aditivos como qualquer material, com exceção da água, agregados, cimentos ou fibras, usado como ingrediente do concreto ou argamassa e adicionado à massa imediatamente antes ou durante a mistura.

Os aditivos são utilizados, em muitos casos, com a finalidade de aumentar a plasticidade do concreto sem aumentar o consumo de água, retardar ou acelerar o tempo de pega, reduzir a exsudação ou segregação, entre outras características.

A Tabela 6 apresenta os aditivos normalmente usados no concreto, bem como normalização brasileira (ABNT) e a norte-americana (ASTM).

Tabela 6 - Aditivos comumente utilizados para concreto

Aditivos	Função	ABNT / ASTM
Redutor de água	Normal	ASTM C 494 (Tipo A)
	Alta eficiência	ASTM C 494 (Tipo F)
Modificador de pega	Acelerador	ASTM C 494 (Tipo C)
	Retardador	ASTM C 494 (Tipo B)
Redutores de água e modificadores de pega	Redutores de água e retardadores	ASTM C 494 (Tipo D)
	Redutores de água e aceleradores	ASTM C 494 (Tipo E)
	Redutores de água de alta eficiência e retardadores	ASTM C 494 (Tipo G)
Melhoria na trabalhabilidade	Aumento na consistência	ASTM C 494 (Tipo A)
	Redução na segregação	ASTM C 260

Fonte: Adaptado de Mehta e Monteiro (2008)

2.5.1 Aditivos aceleradores de pega

Os aditivos aceleradores de pega são utilizados para modificar propriedades do concreto de cimento Portland, como acelerar o início do processo de pega do cimento, redução do tempo de cura, aumento da velocidade de desenvolvimento da resistência inicial, entre outros (MEHTA; MONTEIRO, 2008). Ainda segundo os autores o acelerador mais conhecido e amplamente utilizado é o cloreto de cálcio (CaCl_2).

2.5.2 Aditivos em compósitos cimento-madeira

Como uma solução para minimizar a incompatibilidade entre o cimento e a madeira, faz-se o uso de substância que aceleram a hidratação do cimento. Neste contexto, temos o cloreto de cálcio (CaCl_2), que possui vasta utilização devido a sua disponibilidade no mercado, baixos custos e resultados comprovados durante anos. Este apresenta o cátion Ca^{2+} que é considerado o mais eficiente na aceleração da cura do cimento, e o ânion Cl^- , que é mais eficiente do que SO_4^{2-} e OH^- . O CaCl_2 não somente altera a taxa de hidratação dos minerais do cimento, mas também reage com estes, influenciando, assim, as propriedades de resistência, composição química, área superficial, morfologia e porosidade dos produtos de hidratação (RAMACHANDRAN, 1995 *apud* CASTRO, 2015).

Wei *et al* (2000) analisaram a influência de 30 aditivos químicos no processo de cura do cimento Portland quando misturados com *Betula albosinensis Burkill*, neste estudo os aditivos químicos cloreto de cálcio (CaCl_2), cloreto de ferro (FeCl_3) e o cloreto de estanho (SnCl_2) foram considerados aceleradores aceitáveis, pois elevaram a temperatura de hidratação acima de 50°C com adição de 4% de aditivo em relação à massa do cimento. Destes três aditivos citados, o CaCl_2 apresentou os melhores resultados no aumento da temperatura de hidratação.

Semple e Evans (2000) estudaram o efeito de 137 compostos orgânicos para a produção de compósito com cimento e madeira *Acacia mangium*, dentro destes compostos, encontravam-se cloretos e nitratos, sulfatos, óxidos, acetatos, carbonatos, fluoretos, etc. Em função da espécie florestal o CaCl_2 ficou em 11º,

sendo que o tetracloreto de estanho (SnCl_4), e o cloreto de alumínio (AlCl_3) ficaram nas duas primeiras posições, no que se refere à aceleração da hidratação do cimento.

Ma *et al* (2000) pesquisaram a utilização de cloreto de magnésio (MgCl_2), carbonato de sódio (Na_2CO_3), carbonato de hidrogênio de sódio (NaHCO_3) e cloreto de cálcio (CaCl_2) como aditivos aceleradores de pega do cimento Portland.

2.6 ESCÓRIA DE ALTO-FORNO À CARVÃO VEGETAL

A escória de alto-forno granulada é um subproduto da indústria de fabricação do ferro-gusa. O minério de ferro é fundido em alto-forno, com temperatura próxima a 1500°C , juntamente com o combustível que pode ser coque ou carvão vegetal, o fundente (calcário) e impurezas. O carvão atua como combustível e redutor, associando-se ao oxigênio desprendido do minério, resultando no ferro líquido, ou ferro gusa. O calcário e as impurezas presentes nas matérias-primas como a sílica (SiO_2) entre outros óxidos, formam a escória básica ($\text{CaO}/\text{SiO}_2 > 1$) (OLIVEIRA, 2000; NEVILLE, 2013).

Segundo Jacomino *et al* (2002) *apud* Massucato (2005) os combustíveis utilizados no alto-forno, coque e carvão vegetal, apresentam diferenças entre si, mesmo ambos sendo fontes de carbono, por exemplo, o carvão vegetal é proveniente da carbonização da madeira com um teor de carbono fixo (56% e 75%) e o coque é proveniente do carvão mineral com teor de carbono fixo em torno de 88%, entre outras diferenças apresentadas no Quadro 2.

Descrição	Coque	Carvão vegetal
Altura do forno	~ 32 m	~ 16 m
CaO/SiO_2	>1	<1

Quadro 2 – Diferenças entre alto-forno à carvão vegetal e à coque
Fonte: Adaptado de Jacomino (2002), *apud* Massucato (2005)

Existem três formas de resfriamento da escória: resfriamento ao ar, escória expandida e escória granulada, e a variação de cada um irá influenciar na composição e atividade hidráulica da escória.

- Escória resfriada ao ar: esta é formada pelo resfriamento lento da escória em um poço ao ar livre (MASSUCATO, 2005);

- Escória expandida: é proveniente do rápido vazamento da escória fundida em poços de paredes inclinadas, molhadas ao fundo, que permite que o vapor penetre na escória quando está ainda se encontra líquida (MASSUCATO, 2005);
- Escória granulada: jatos de água em alta pressão são lançados diretamente sobre na saída da escória fundida, ocorre um resfriamento rápido da escória líquida em uma estrutura química fundida. (MASSUCATO, 2005).

As composições químicas das escórias produzidas pelos dois tipos de combustíveis são apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Composição das escórias de alto-forno no Brasil

Componente		Teores (%)	
Fórmula	Nome	Escória Básica	Escória ácida
CaO	Óxido de cálcio	40 – 45	24 – 39
SiO ₂	Dióxido de silício	30 – 35	38 – 55
Al ₂ O ₃	Óxido de alumínio	11 – 18	8 – 19
MgO	Óxido de magnésio	2,5 – 9	1,5 – 9
Fe ₂ O ₃	Óxido de ferro (III)	0 – 2	0,4 – 2,5
FeO	Óxido de ferro (II)	0 – 2	0,2 – 1,5
S	Enxofre	0,5 – 1,5	0,03 – 0,2
(CaO/SiO ₂) média		1,31	0,68

Fonte: Adaptado de John (1995)

2.6.1 Índice de hidraulicidade

Para que a escória possua atividade hidráulica, esta deve ser resfriada rapidamente, desde o estado líquido a 1500°C até 200°C, tornando-se assim, um material amorfo. Segundo a NBR 5735 (1991) as escórias devem atender a relação $(CaO+MgO+Al_2O_3)/SiO_2 > 1$, sendo esta relação denominada índice de hidraulicidade e também representada por CaO/SiO_2 (MASSUCATO, 2005). Os critérios para a classificação da escória quanto ao seu índice de hidraulicidade são apresentados no Quadro 3.

CaO/SiO ₂	≥ 1	Básica
CaO/SiO ₂	< 1	Ácida

Quadro 3 – Índice de hidraulicidade das escórias.

Fonte: Adaptado de John (1995)

Se este índice for igual ou maior que 1 (≥ 1) a escória possui atividade hidráulica suficiente para ser usada na produção de cimento Portland de alto-forno e como adição no concreto. Caso contrário esta é classificada como ácida.

2.6.2 Utilização de materiais cimentício em compósitos cimento-madeira

Segundo John e Agopyan (1993) citados por Lima (2009), o emprego de materiais cimentícios alternativos podem colaborar para um aumento da durabilidade de compósitos com fibras vegetais.

Lange *et al* (1989) *apud* Lima (2009), cita os seguintes benefícios causados pela substituição parcial do cimento:

- Redução da alcalinidade da matriz cimentícia;
- Alteração da porosidade do material;
- A matriz cimentícia apresentou menos sensibilidade aos efeitos inibitórios da madeira;
- Aumento da resistência diante do uso de madeiras menos compatíveis com o cimento Portland;
- Aumento da durabilidade, devido a redução do pH da matriz;
- Melhores características diante da umidade;
- Menor retração do material.

2.7 PAINÉIS CIMENTO-MADEIRA

As chapas de cimento-madeira são utilizadas no setor da construção civil na Áustria desde 1920 e na Alemanha desde 1940, e tiveram sua expansão após a II Guerra Mundial, para Austrália, Estados Unidos e países da Ásia. A produção em larga escala surgiu em 1976, na Alemanha, e expandiu-se para os Estados Unidos (wood fiber cement) e México (cement-bonded particleboard) (MACÊDO *et al*, 2012).

Devido às características indesejáveis da madeira como dimensões, defeitos naturais, higroscopicidade e anisotropia, uma solução para minimizar estas é a utilização da madeira para a produção de painéis reconstituídos, utilizando os mais variados componentes, como exemplo, o cimento (PAULA, 2009). Painéis de madeira são materiais lignocelulósicos produzidos com madeira processada e adesivo sintético (THOEMEN *et al*, 2010).

O uso de painéis cimento-madeira tem inúmeras vantagens, ganhando uma posição de destaque entre os produtos florestais, considerando a possibilidade do uso adequado dos resíduos gerados pela exploração florestal e pelo processamento industrial (MORI *et al*, 2007).

Os painéis cimento-madeira são considerados painéis de maior qualidade, quando comparados aos feitos de gesso ou cimento magnésio, tendo sua utilização eficaz tanto na parte interna como na externa de construções (MORI *et al*, 2007; YOUNGQUIST *et al*, 1996).

Segundo Iwakiri *et al* (2005), painéis de cimento-madeira, demonstrados na Figura 2, são compostos particulados minerais produzidos a partir de madeira, aglomerante mineral, aditivo químico e água, unidos por prensagem a frio.



Figura 2 - Painéis de cimento-madeira
Fonte: Portal da Madeira (2010)

Segundo Matoski (2005), os painéis de cimento-madeira apresentam vantagens como: as partículas não precisam ser secas a baixos teores de umidade, a cura é exotérmica, menor consumo de energia total, menor perda de material durante o acabamento, utilização de materiais não tóxicos, não ocorre

formação de gases tóxicos durante o processo de produção, não formam poeira e não há problemas de efluentes líquidos.

Ainda, segundo Moslemi (1974), os painéis cimento-madeira apresentam vantagens como materiais para construção civil, tais como: são produtos virtualmente incombustíveis; apresentam alta resistência mecânica e à umidade; são resistentes ao ataque de agentes biodegradadores; são isolantes térmicos e acústicos.

Porém estes apresentam uma dificuldade para a sua produção, os componentes orgânicos presentes em certas espécies podem afetar o processo de cura do cimento e resultar em painéis de qualidade inferior (MOSLEMI; PFISTER, 1987). Uma solução para minimizar o problema de incompatibilidade é o uso de substâncias químicas que aceleram a hidratação do cimento.

As relações ideais para traços de painéis cimento-madeira são apresentadas na Tabela 8, as partículas dos materiais lignocelulósicos apresentam função de agregados e agentes reforçantes, o cimento funciona como material ligante, água como reagente, e o aditivo desempenha a função de catalisador (LATORRACA, 2000; OKINO *et al*, 2004).

Relação	Relação ideal
Madeira: cimento	1: 2,5 – 1: 2,75
Água: cimento	0,4

Fonte: Iwakiri (2016)

O processo construtivo dos painéis de cimento-madeira, em uma primeira etapa consiste na moagem da madeira, transformando-as em partículas que são classificadas de acordo com o tamanho desejado, após isso ocorre à mistura destas partículas com cimento, aditivo e água, formando o colchão. Após a formação do colchão ocorre à prensagem e grampeamento deste, passando para o processo de cura, após esse período os grampos são retirados e o produto estocado.

O emprego deste tipo de painel possibilita a melhor utilização dos resíduos gerados na exploração florestal, e uma maior valorização deste no processo industrial.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

No decorrer deste capítulo são apresentadas as fases em que a pesquisa foi dividida:

Fase 1: Estudo preliminar – caracterização dos materiais utilizados e análise da interação entre o cimento Portland e as biomassas vegetais (biomassa de bambu mossô e biomassa de cana-de-açúcar);

Fase 2: Análise do pré-tratamento das partículas da biomassa, através da avaliação da interação entre o cimento Portland e as biomassas vegetais tratadas e aditivo acelerador de pega;

Fase 3: Estudo da adição de escória de alto-forno à carvão vegetal, e;

Fase 4: Produção e caracterização física e mecânica dos painéis de cimento Portland reforçados com biomassa vegetal e adição de escória de alto-forno.

3.1 FASE 1: ESTUDO PRELIMINAR – CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS E ANÁLISE DA INTERAÇÃO ENTRE O CIMENTO PORTLAND E AS BIOMASSAS VEGETAIS (BIOMASSA DE BAMBU MOSSÔ E BIOMASSA DE CANA-DE-AÇÚCAR)

Nesta fase inicial da pesquisa foi realizada a caracterização de todos os materiais utilizados na pesquisa. Após isso, foi determinado um traço referência, com base na NBR 7215 – Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão (ABNT, 1996), variando seu teor de água.

Posteriormente, foram moldados os corpos-de-prova para determinar resistência à compressão e os índices físicos como: absorção de água, índice de vazios e massa específica conforme NBR 9778 – Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica (ABNT, 2005).

Ainda, realizou-se uma avaliação da temperatura e do tempo de hidratação dos compósitos, buscando avaliar a influência da biomassa na hidratação do cimento Portland. Após análise dos resultados dos ensaios

mecânicos, foi decidido qual traço a ser adotado para a fase seguinte. As etapas dessa fase são apresentadas na Figura 3:

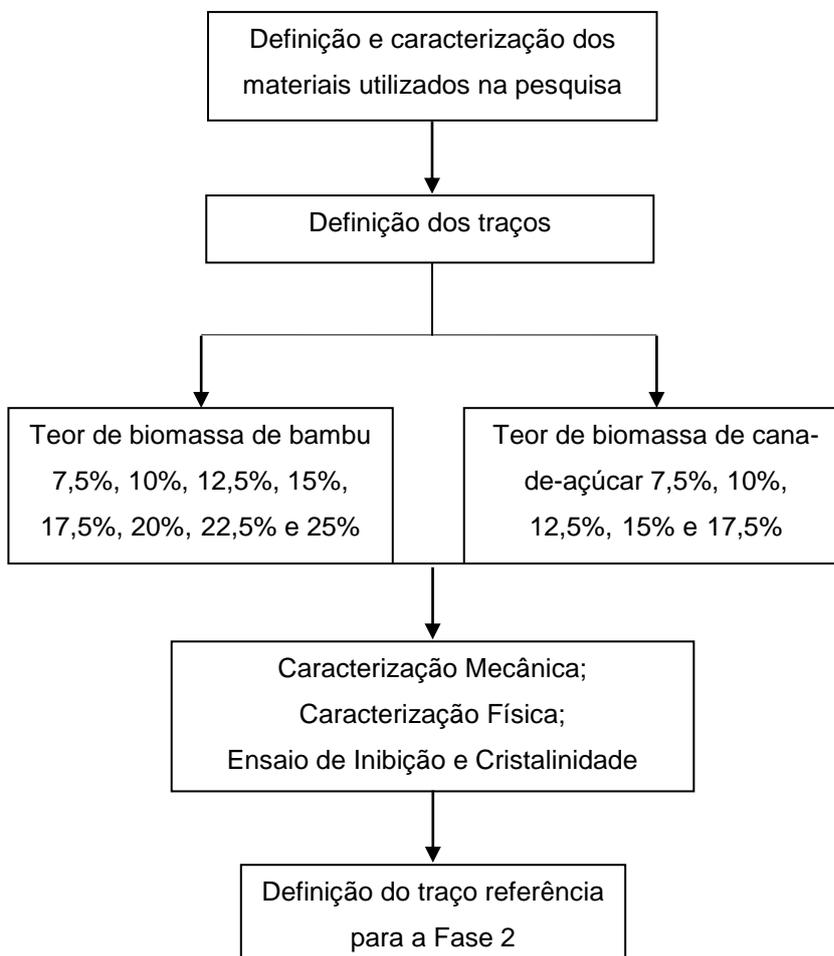


Figura 3 - Fluxograma Fase 1
Fonte: Autoria Própria (2016)

3.1.1 Caracterização dos materiais utilizados na pesquisa

Apresentam-se os ensaios efetuados para a caracterização dos materiais utilizados na pesquisa, buscando-se determinar se estes estão dentro dos parâmetros estabelecidos por normas, tanto nacionais como internacionais.

3.1.2 Aglomerante

O aglomerante utilizado foi o cimento Portland CPV-ARI (Cimento Portland de alta resistência inicial) da marca ITAMBÉ, este foi adotado devido ao seu menor tempo de hidratação e pega rápida. As características físicas e mecânicas,

bem como sua composição química, segundo o fabricante, são apresentadas na Tabela 9, sua massa específica é de 3,09 g/cm³.

Tabela 9 - Características físicas / mecânicas e composição química do cimento Portland CPV-ARI

Características físicas e mecânicas											
Exp. Quente (mm)	Tempo de pega (h)		Consistência a normal (%)	Blaine (cm ² /g)	Finura (%)			Resistência à compressão (MPa)			
	Início	Fim			0,075 mm	0,044 mm	1d	3d	7d	28d	
0,17	3:23	4:01	29,00	4072	0,13	1,40	21,8	37,4	43,3	51,5	
Composição Química											
Perda ao fogo (%)	Resíduo Insolúvel (%)	Equivalente Alcalino	Óxido de cálcio livre (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)		
3,16	0,75	0,67	0,85	4,38	18,98	2,70	60,90	4,52	2,77		

Exp. Quente: Expansibilidade à quente
d: dias

Fonte: ITAMBÉ (2016)

3.1.3 Biomassa vegetal

As biomassas utilizadas foram a biomassa de bambu mossô e a biomassa de cana-de-açúcar, doados por uma empresa da cidade de São José dos Pinhais, estes dois resíduos foram adotados devido a disponibilidade e ao fácil acesso a estes. Este material, depois de recebido, foi transformado em pó com o auxílio de moinhos de martelo, após a moagem, este material foi classificado de acordo com a sua granulometria e depositado em galpões.

3.1.4 Caracterização química da biomassa

A caracterização química das biomassas foi realizada no laboratório de Polpa e Papel e Química da Madeira do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da Universidade Federal do Paraná. O delineamento experimental é mostrado na Tabela 10.

Tabela 10 - Ensaios de Caracterização química das biomassas

Ensaio	Norma	Repetições
Teor de umidade	TAPPI T 264 cm (1997)	3
Extrativos totais	TAPPI T 204 cm (1997)	3
Lignina	TAPPI T 222 om (2006)	3
Solubilidade em água fria	TAPPI T 207 cm (1999)	3
Solubilidade em água quente	TAPPI T 207 cm (1999)	3
Solubilidade em hidróxido de sódio	TAPPI T 212 om (2002)	3
Ph	TAPPI T 252 om (2012)	3
Cinzas	TAPPI T 211 cm (2002)	3

Fonte: A autoria própria (2016)

3.1.4.1 Preparação das amostras

Para a preparação da amostra seguiu-se a TAPPI T 257 cm – *Sampling and preparing wood for analysis* (2002), no qual o material já moído era despejado nas peneiras de 40 e 60 *mesh*. As partículas utilizadas foram as que ficaram retidas na peneira de 60 *mesh*, sendo necessários aproximadamente 60 gramas para a realização de todos os ensaios.

3.1.4.2 Teor de umidade

A determinação da umidade da amostra foi realizada com o auxílio da TAPPI T 264 cm – *Preparation of wood for chemical analysis* (1997). Colocou-se no *becker* aproximadamente 2,00 g da biomassa, pesando o conjunto. Logo em seguida, o recipiente com a biomassa foi colocado na estufa a 105°C para secar, no qual foi mantido por 48 horas.

Após esse período, retirou-se o *becker* da estufa, colocando-o no dessecador, e após seu resfriamento, pesado. A umidade da amostra é calculada pela Equação (3):

$$U = \frac{P_U - P_S}{P_U} * 100 \quad (3)$$

Em que:

P_u : peso da amostra úmida;

P_s : peso da amostra seca, dado pela diferença entre o peso do recipiente mais a amostra seca e peso do recipiente.

Após isso se divide o peso seco pelo peso úmido e multiplica-se por 100, obteve-se, assim, a percentagem absolutamente seca (%AS).

3.1.4.3 Extrativos totais

A determinação dos extrativos totais foi realizada de acordo com a TAPPI T 204 cm – *Solvent extractives of wood and pulp* (1997). Transferiu-se a amostra para um cartucho de extração, e tampou-se este com algodão e colocou-se no extrator *soxhlet*. Foi conectado um balão volumétrico sobre a boca do extrator, contendo uma solução 1:2 de etanol-tolueno. A bancada de extração permaneceu ligada por 7 horas, terminado esse período, retirou-se o cartucho do extrator e colocou-se para secagem.

Com esse mesmo cartucho seco, adicionou-se 210 ml de etanol 95% no balão volumétrico de 250 ml, remontou-se o sistema balão. A extração ficou ligada por um período de 5 horas. Depois deste período, o cartucho foi retirado do extrator e deixado para secar e extrair o solvente residual.

Posteriormente, o material do cartucho foi transferido para um *Erlenmeyer* de 1 l e adicionou-se, juntamente, 500 ml de água destilada fervendo, colocou-se este no banho-maria por uma hora a 100°C. Passado esse período, o *Erlenmeyer* foi retirado do banho-maria.

Ocorreu à filtragem do material em cadinhos filtrantes, após a filtragem colocou-se estes cadinhos na estufa por 24 horas. O teor de extrativos totais é determinado pela Equação (4).

$$TEt = \frac{P_{as} - (P_{ac} - P_c)}{P_{as}} * 100 \quad (4)$$

Em que:

P_{as} : peso da amostra seca;

P_{ac} : Peso da amostra seca mais cadinho filtrante;

P_c : peso cadinho filtrante.

3.1.4.4 Lignina

A determinação do teor de lignina fez-se de acordo com a norma TAPPI T 222 om – *Acid-insoluble lignin in wood and pulp* (2006). Após determinado o teor de extrativos das amostras, pesou-se um grama seco de cada amostra. Estas foram transferidas para um *becker* pequeno, no qual foi adicionado 15 ml de ácido sulfúrico 72%, este ficou em contato com a biomassa por duas horas. Passado esse período, a mistura foi transferida para um *Erlenmeyer* e adicionado a este 560 ml de água destilada, este *Erlenmeyer* foi colocado em banho-maria e permaneceu por 4 horas neste.

Após isso, a mistura foi filtrada em um cadinho filtrante. A lignina insolúvel presente na amostra e determinada pela Equação (5).

$$TI = \frac{P_{ac} - P_c}{P_{as}} * 100 \quad (5)$$

Em que:

P_{as} : peso da amostra seca;

P_{ac} : Peso da amostra seca mais cadinho filtrante;

P_c : peso cadinho filtrante.

3.1.4.5 Solubilidade em água quente e em água fria

A solubilidade em água fria e quente foi desempenhada conforme TAPPI T 207 cm – *Water solubility of wood and pulp* (1999). A amostra foi transferida para um *becker* de 400 ml e adicionado 300 ml de água destilada, este foi mantido durante 48 horas a temperatura ambiente. Após as 48 horas, transferiu-se o material para o cadinho filtrante, e este foi filtrado com o auxílio da bomba de vácuo, sendo que lavou-se a amostra com água destilada. Determinou se o teor de extrativos em água fria com o auxílio da Equação (6).

$$TE_{af} = \frac{P_{as} - (P_{ac} - P_c)}{P_{as}} * 100 \quad (6)$$

Em que:

P_{as} : peso da amostra seca: [$P_{ia} * (\%AS/100)$];

P_{ac} : Peso da amostra seca mais cadinho filtrante;

P_c : peso cadinho filtrante.

No caso dos extrativos em água quente, a amostra foi transferida para um *Erlenmeyer* de 250 ml e adicionou-se 100 ml de água destilada, após isto, este foi colocado em banho-maria com a água em ebulição, e mantido neste por 3 horas.

Ao fim das 3 horas, o material foi transferido para os cadelinhos filtrantes e filtrados com o auxílio da bomba de vácuo. O teor de extrativos em água quente é calculado pela Equação (7).

$$TE_{aq} = \frac{P_{as} - (P_{ac} - P_c)}{P_{as}} * 100 \quad (7)$$

Em que:

P_{as} : peso da amostra seca: [$P_{ia} * (\%AS/100)$];

P_{ac} : Peso da amostra seca mais cadinho filtrante;

P_c : peso cadinho filtrante.

3.1.4.6 Solubilidade em Hidróxido de sódio

Para a solubilidade em hidróxido de sódio (NaOH) adotou-se a TAPPI T 212 om – *One percent sodium hydroxide solubility of wood and pulp* (2002). A amostra foi transferida para um *becker* de 400 ml e adicionou-se 100 ml de NaOH. O *becker* foi colocado em banho-maria com água em ebulição por uma hora.

A solução foi transferida para cadelinhos filtrantes. Estes foram colocados sobre a bomba de vácuo, onde foram lavados com água destilada, 50 ml de ácido acético a 10% para neutralizar e novamente água destilada quente.

Os cadelinhos foram levados para a estufa onde permaneceram por 24 horas. O teor de extrativos em NaOH 1% é dado pela Equação (8).

$$TE = \frac{P_{as} - (P_{ac} - P_c)}{P_{as}} * 100 \quad (8)$$

Em que:

P_{as} : peso da amostra seca: $[P_{ia} * (\%AS/100)]$;

P_{ac} : Peso da amostra seca mais cadinho filtrante;

P_c : peso cadinho filtrante.

3.1.4.7 Teor de cinzas

Para o teor de cinzas foi adotada a TAPPI T 211 om – *Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525°C* (2002). Após definida a quantidade da amostra, esta foi transferida para o cadinho de porcelana e este colocado na mufla. O material entrou em combustão e após o fim da chama a mufla foi fechada e esperado 3 horas até a incineração total do material orgânico. O teor de cinzas é calculado pela Equação (9).

$$Tc = \left(\frac{P_{ac} - P_c}{P_{as}} \right) * 100 \quad (9)$$

Em que:

P_{as} : peso da amostra seca: $[P_{ia} * (\%AS/100)]$;

P_{ac} : Peso da amostra seca mais cadinho;

P_c : peso cadinho de porcelana.

3.1.4.8 pH

Para a determinação do pH da biomassa de bambu mossô e da biomassa de cana-de-açúcar foram utilizadas as premissas da TAPPI T 252 om - *pH and electrical conductivity of hot water extracts of pulp, paper, and paperboard* (2012), onde foram pesados 2 g de biomassa absolutamente seca, as quais foram transferidas para *erlenmeyer*, sendo posteriormente adicionados 100 ml de água destilada. O material foi conservado sob fervura em banho maria durante uma hora e após o resfriamento a temperatura ambiente foram executadas as medições. As leituras foram efetuadas em pHmetro digital após o intervalo de duas e 24 horas.

3.1.5 Caracterização física da biomassa vegetal

Realizou-se a caracterização física da biomassa através da determinação da granulometria das biomassas e da massa específica destas:

- Para a determinação da composição granulométrica adotou-se a NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica (ABNT, 2003);
- A massa específica da biomassa foi determinada com o auxílio do frasco de Chapman, como indicado na NBR 9776: Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman (ABNT, 1987), porém o método de ensaio foi adaptado: ocorreu à substituição da água por álcool etílico, esta substituição ocorreu devido ao fato do álcool etílico possuir menor densidade do que a água e a biomassa apresenta massa menor do que a areia, assim, quando utilizado água a biomassa boia sobre a superfície (GRANDI, 1995).

3.1.6 Índice de cristalinidade

A determinação do Índice de Cristalinidade da celulose da biomassa vegetal foi realizada no Centro Multiusuário de Caracterização de Materiais (CMCM) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O equipamento utilizado foi o difratômetro de Raios X Shimadzu XRD-7000. Obteve-se o índice de cristalinidade pela Equação (2) apresentada na página 44.

3.1.7 Escória de alto-forno à carvão vegetal

A escória foi seca em estufa, por aproximadamente 24 horas em temperatura controlada de 105°C, e triturada em moinho de panela.

3.1.8 Caracterização da escória de alto-forno à carvão vegetal

A escória de alto-forno à carvão vegetal foi doada por uma empresa da cidade de Belo Horizonte - MG. Para a sua caracterização foram seguidos os ensaios citados abaixo:

- Análise da distribuição granulométrica: realizou-se através das premissas da NBR 11579: Cimento Portland – Determinação da finura por meio da peneira 75 μm (nº 200) (ABNT, 1991);
- Determinação da superfície específica e a massa específica: utilizou-se a NBR NM 76: Cimento Portland – Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine) (1998);
- Análise química semi quantitativa: foi realizada por meio de espectroscopia por fluorescência de Raios X (FRX) no Laboratório de Análises de Minerais e Rochas – LAMIR do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Após moído, pesou-se 7 g de escória e 1,4 g de cera orgânica, posteriormente estes foram misturados, até se notar a homogeneidade da mistura, em seguida, esta mistura foi prensada, gerando a pastilha a ser analisada. Esta análise detecta todos os elementos mais pesados que o flúor e presentes acima de 0,1 %; o tempo total de varredura foi de aproximadamente 6 minutos. Assim, foi possível determinar o Índice de basicidade ou hidraulicidade da escória, e;
- A difração de Raios X (DRX) foi utilizada para fazer a caracterização mineralógica da escória. Esta realizou-se no Centro Multiusuário de Caracterização de Materiais (CMCM) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Utilizou-se o difratômetro de Raios X Shimadzu XRD-7000. Para a análise do difratograma foi utilizado o *software* X'Pert HighScore e o banco de dados ICDD – *International Center for Diffraction Data* (2003).

3.1.9 Ensaio de inibição

Neste ensaio, procurou-se analisar a evolução da temperatura de hidratação do cimento Portland na ausência e presença da biomassa vegetal, determinando assim, o índice de inibição da pega do cimento.

Realizou-se o ensaio em uma adaptação de calorímetro na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como aparelho aquisitor de dados Master Logger A 202 da marca WARME, termopar tipo K (níquel - cromado) ANSI 2 x 24 (0,51mm) Awg em silicone com 8 canais.

Foram moldados três traços de argamassas contendo 300 g de cimento Portland CPV-ARI, 22,5 g de biomassa vegetal e 120 g de água, tanto para a

biomassa de bambu mossô como para a biomassa de cana-de-açúcar, e três traços de pasta (300 g de cimento e 120 g de água), após a mistura, estas foram colocadas em sacos plásticos. Estes sacos plásticos foram colocados em um recipiente térmico, onde o cabo de compensação tipo K2x24 com isolamento de silicone foi introduzido na mistura. O cabo de compensação encontrava-se conectado a um receptor de sinais, no qual os dados eram lidos e convertidos em valores de temperatura por um programa de computador. As leituras foram coletadas a cada segundo por um período de 24 horas.

3.1.10 Definição dos traços para o compósito cimento-biomassa vegetal

Os traços adotados variaram o teor de biomassa na mistura, e a relação água:cimento (a:c), conforme apresentados Tabela 11 e Tabela 12:

Tabela 11 - Traços dos compósitos com biomassa de bambu mossô

Traço	Relação cimento:biomassa (kg)	Biomassa de bambu mossô (%)	Relação água:cimento
T1	13:1	7,5	0,4 / 0,5 / 0,6
T2	10:1	10	0,4 / 0,5 / 0,6
T3	8:1	12,5	0,4 / 0,5 / 0,6
T4	6,6:1	15	0,4 / 0,5 / 0,6
T5	5,7:1	17,5	0,4 / 0,5 / 0,6
T6	5:1	20	0,4 / 0,5 / 0,6
T7	4,4:1	22,5	0,5 / 0,6
T8	4,5:1	25	0,5 / 0,6

Fonte: Autoria própria (2016)

Tabela 12 - Traços dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar

Traço	Relação cimento:biomassa (kg)	Biomassa de cana-de-açúcar (%)	Relação água:cimento
T1	13:1	7,5	0,4 / 0,5 / 0,6
T2	10:1	10	0,4 / 0,5 / 0,6
T3	8:1	12,5	0,4 / 0,5 / 0,6
T4	6,6:1	15	0,5 / 0,6

Fonte: Autoria própria (2016)

A moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos baseou-se na NBR 7215: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão (ABNT, 1996), sendo que foram moldados quatro corpos-de-prova para cada traço.

Após a preparação da mistura em um misturador mecânico, foram moldados os corpos-de-prova cilíndricos, com diâmetro interno de 50 mm e altura de 100 mm. A argamassa foi colocada no molde, sendo está dividida em quatro camadas da mesma altura, a cada camada adicionada, a mesma foi adensada com trinta golpes de soquete. Durante as primeiras 24 horas estes moldes permaneceram em câmara úmida para a cura inicial.

Logo após esse período, os corpos de prova foram desmoldados, identificados e imersos no tanque de água (não corrente) saturada de cal da câmara úmida, no qual permaneceram até o momento do ensaio.

3.1.11 Ensaio físicos

Para a determinação das características físicas dos compósitos aos sete dias de idade utilizou-se a NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica (ABNT, 2005).

O ensaio consistiu em colocar a amostra na estufa, com temperatura de 105°C, por 72 horas, após esse período registrar a massa da amostra. Logo após, as mesmas foram imersas em água a temperatura de 23°C por 72 horas. Em seguida colocou-se a amostra em um recipiente cheio de água, e elevou-se a temperatura até a ebulição, sendo mantida por um período de 5 horas. Após isso, pesou-se a amostra com o auxílio da balança hidrostática. Posteriormente, secou-se a amostra com pano úmido e determinou-se sua massa.

A absorção de água, de acordo com esta norma, é o aumento de massa de um corpo sólido poroso devido à penetração de água em seus poros, sendo esta determinada pela Equação (10):

$$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} * 100 \quad (10)$$

Em que:

A : absorção de água (%);

m_{sat} : é a massa da amostra saturada em água após a imersão e fervura (g);

m_s : é a massa da amostra seca em estufa (g).

O índice de vazios consiste na relação entre o volume de poros permeáveis e o volume total da amostra, sendo calculado pela Equação (11):

$$I_v = \frac{m_{sat} - m_s}{m_{sat} - m_i} * 100 \quad (11)$$

Em que:

I_v : índice de vazios (%);

m_i : é a massa da amostra saturada imersa em água, logo após a fervura.

A massa específica do material pôde ser determinada para a amostra seca, saturada e a massa específica real, conforme as Equações (12), (13) e (14), respectivamente.

$$\rho_s = \frac{m_s}{m_{sat} - m_i} \quad (12)$$

$$\rho_{sat} = \frac{m_{sat}}{m_{sat} - m_i} \quad (13)$$

$$\rho_r = \frac{m_s}{m_s - m_i} \quad (14)$$

3.1.12 Ensaio mecânico

Adotou-se somente o ensaio de resistência à compressão, como requisito mecânico. Para este ensaio utilizou-se a máquina universal EMIC, modelo DL 30000, com tomada de dados por computador, no qual o corpo-de-prova, devidamente capeado com peças de neoprene guarnecidas por capacetes de aço, foi colocado sobre o prato inferior da prensa, de modo que fique rigorosamente centrado em relação ao eixo de carregamento. Após isso é transmitido à carga de compressão aos corpos-de-prova.

3.1.13 Definição do traço

Com base na resistência à compressão dos compósitos, definiu-se o traço adotado para a Fase 2.

3.2 FASE 2: ANÁLISE DO PRÉ-TRATAMENTO NA BIOMASSA, ATRAVÉS DA AVALIAÇÃO DA INTERAÇÃO ENTRE O CIMENTO PORTLAND E AS BIOMASSAS VEGETAIS TRATADAS E ADITIVO ACELERADOR DE PEGA

Nesta fase da pesquisa realizou-se estudo do possível pré-tratamento a ser adotado para a biomassa de bambu mossô e para a biomassa de cana-de-açúcar. Também definiu-se o teor do aditivo acelerador de pega utilizado no compósito.

Com base na Fase 1, definiu-se o traço a ser adotado, tanto para o bambu mossô, como para a cana-de-açúcar, tendo por base os resultados do ensaio mecânico.

Após isso, realizou-se avaliação da temperatura e do tempo de hidratação dos compósitos, buscando avaliar a influência da biomassa tratada na hidratação do cimento Portland. As etapas dessa fase são apresentadas na Figura 4.

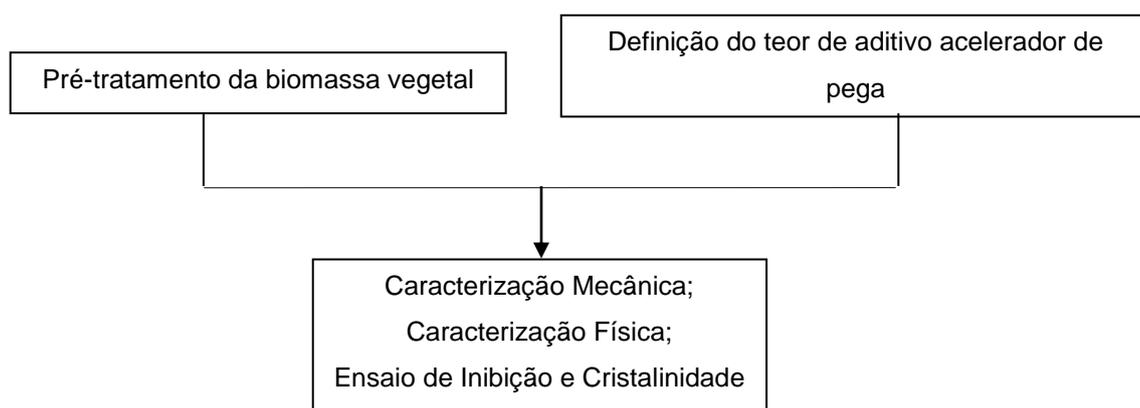


Figura 4 - Fluxograma Fase 2
Fonte: Autoria Própria (2016)

3.2.1 Pré-tratamento da biomassa vegetal

Foram adotados cinco tipos de pré-tratamentos nos dois tipos de biomassa, visando analisar qual destes melhorava a compatibilidade entre a biomassa e o cimento. Os pré-tratamentos adotados foram:

- Solubilização em Hidróxido de sódio (NaOH): as biomassas permaneceram imersas em solução de NaOH, com teor de 1% em massa, por um período de uma hora, após isso foi realizada à lavagem em água fria. As biomassas foram espalhadas em área coberta para sua secagem;
- Solubilização em silicato de sódio ($\text{Na}_2\text{O}_3\text{Si}$): as biomassas permaneceram imersas em solução de silicato de sódio, com teor de 1% em massa, por um período de uma hora. Após isso, as biomassas foram espalhadas em área coberta para sua secagem;
- Solubilização em silano (SiH_4): as biomassas permaneceram imersas em solução de silano, com teor de 1% em massa, por um período de uma hora. Após isso, as biomassas foram espalhadas em área coberta para sua secagem;
- Solubilização em água fria: as biomassas permaneceram imersas em água fria por 2 dias, após esse período, as biomassas foram espalhadas em área coberta para sua secagem, e;
- Solubilidade em água quente: as biomassas permaneceram imersas em água a 100°C por 3 horas, após isso, as biomassas foram espalhadas em área coberta para sua secagem.

3.2.2 Aditivo acelerador de pega

O aditivo químico utilizado foi o VEDACIT RÁPIDO CL, composto de cloreto de cálcio, este foi escolhido com base na literatura.

3.2.3 Definição do teor de aditivo acelerador de pega

Buscando analisar o desempenho do aditivo acelerador de pega do cimento Portland, foram utilizados três teores de aditivo: 3%, 6%, 9%, em relação a massa do cimento. Estes teores foram adotados devido às recomendações de variação do teor de aditivo de 3% a 15% feitas pelo fabricante.

3.2.4 Traços dos compósitos

O traço adotado da Fase 1 para o compósito cimento-biomassa de bambu mossô foi de 13,33:1, com uma relação água/cimento de 0,50. A moldagem dos corpos-de-prova baseou-se na NBR 7215 (1996), foram moldados quatro corpos-de-prova para cada traço.

Visando analisar o efeito do aditivo acelerador de pega a base de cloreto de cálcio, foram utilizados quatro percentuais deste: 0, 3, 6 e 9%. Os traços produzidos para a biomassa de bambu mossô são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Traços para os diferentes pré-tratamentos da biomassa de bambu mossô

Pré –Tratamento	Traço	Relação		Aditivo (%)
		cimento:biomassa (kg)	água:cimento	
Sem tratamento	T9	13:1	0,5	0
	T10	13:1	0,5	3
	T11	13:1	0,5	6
	T12	13:1	0,5	9
Hidróxido de sódio	T13	13:1	0,5	0
	T14	13:1	0,5	3
	T15	13:1	0,5	6
	T16	13:1	0,5	9
Silicato de sódio	T17	13:1	0,5	0
	T18	13:1	0,5	3
	T19	13:1	0,5	6
	T20	13:1	0,5	9
Água fria	T21	13:1	0,5	0
	T22	13:1	0,5	3
	T23	13:1	0,5	6
	T24	13:1	0,5	9
Água quente	T25	13:1	0,5	0
	T26	13:1	0,5	3
	T27	13:1	0,5	6
	T28	13:1	0,5	9
Silano	T29	13:1	0,5	0
	T30	13:1	0,5	3
	T31	13:1	0,5	6
	T32	13:1	0,5	9

Fonte: Autoria própria (2016)

Para a biomassa de cana-de-açúcar a relação cimento-biomassa foi de 13,33:1, com uma relação água:cimento de 0,6. A Tabela 14 apresenta os traços para a biomassa de cana-de-açúcar.

Tabela 14- Traços para os diferentes pré-tratamentos da biomassa de cana-de-açúcar

Pré –Tratamento	Traço	Relação cimento:biomassa (kg)	Relação água:cimento	Aditivo (%)
Sem tratamento	T33	13:1	0,6	0
	T34	13:1	0,6	3
	T35	13:1	0,6	6
	T36	13:1	0,6	9
Hidróxido de sódio	T37	13:1	0,6	0
	T38	13:1	0,6	3
	T39	13:1	0,6	6
	T40	13:1	0,6	9
Silicato de sódio	T41	13:1	0,6	0
	T42	13:1	0,6	3
	T43	13:1	0,6	6
	T44	13:1	0,6	9
Água fria	T45	13:1	0,6	0
	T46	13:1	0,6	3
	T47	13:1	0,6	6
	T48	13:1	0,6	9
Água quente	T49	13:1	0,6	0
	T50	13:1	0,6	3
	T51	13:1	0,6	6
	T52	13:1	0,6	9
Silano	T53	13:1	0,6	0
	T54	13:1	0,6	3
	T55	13:1	0,6	6
	T56	13:1	0,6	9

Fonte: Autoria própria (2016)

Estes traços também visavam analisar os efeitos do aditivo acelerador de pega nos diferentes pré-tratamentos.

3.2.5 Ensaio mecânico

Adotou-se somente o ensaio de resistência à compressão, como requisito mecânico. Os procedimentos foram os mesmo da fase anterior. Os corpos-de-prova foram ensaiados na idade de 7 dias.

3.2.6 Índice de cristalinidade

Foi calculado adotando os mesmos procedimentos do item 3.1.6 da Fase 1.

3.2.7 Ensaio de inibição

Para esta fase da pesquisa, no ensaio de inibição, procurou-se avaliar o efeito dos pré-tratamentos nas biomassas, bem como do aditivo acelerador de pega, na temperatura de hidratação do cimento Portland. O ensaio foi executado conforme item 3.1.10 citado na Fase 1.

3.2.8 Ensaio físicos

Para a determinação das características físicas como absorção de água, índice de vazios e massa específica dos compósitos aos sete dias de idade utilizou-se a NBR 9778 (ABNT, 2005).

3.3 FASE 3: ESTUDO DA ADIÇÃO DE ESCÓRIA DE ALTO-FORNO À CARVÃO VEGETAL

Nesta fase ocorreu a adição da escória de alto-forno à carvão vegetal. Os teores de escória de alto-forno são variados para a moldagem dos corpos-de-prova. As etapas desta fase são apresentadas na Figura 5.

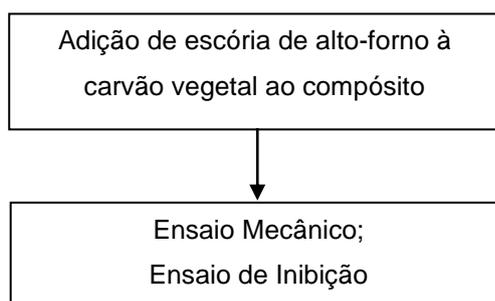


Figura 5 - Fluxograma Fase 3
Fonte: Autoria Própria (2016)

3.3.1 Teores de escória de alto-forno à carvão vegetal

Com base no traço definido na Fase 2, foram moldados corpos-de-prova com adição de escória de alto-forno à carvão vegetal. A moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos realizou-se em moldes de PVC com dimensão de 16 mm por 32 mm, obedecendo a relação estabelecida pela NBR 7222 (2011), onde a relação entre o diâmetro do molde e a sua altura é de 1:2. Estes foram adotados visando a economia da escória de alto-forno. Os teores de escória de alto-forno adotados nesta etapa da pesquisa foram 5%, 10%, 15%, 25%, 30%, 40%, 50%, 60% e 70%.

Os corpos-de-prova foram preenchidos em três camadas, com 30 quedas a cada camada, visando o correto adensamento. Os traços dos corpos-de-prova são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 - Traços dos compósitos com biomassa de bambu mossô e escória de alto-forno

Traço	Relação cimento:biomassa (kg)	Relação água:cimento	Escória (%)
T57	13:1	0,5	5
T58	13:1	0,5	10
T59	13:1	0,5	15
T60	13:1	0,5	25
T61	13:1	0,5	30
T62	13:1	0,5	40
T63	13:1	0,5	50
T64	13:1	0,5	60
T65	13:1	0,5	70
Pasta referência	-	0,5	-

Fonte: Autoria Própria (2016)

3.3.2 Ensaio de inibição

Para verificar como a escória de alto-forno afetava o processo de hidratação do cimento, foi realizado o ensaio de inibição para todos os teores de escória de alto-forno. Os procedimentos adotados foram os mesmos do item 3.1.10 da Fase 1.

3.3.3 Ensaio mecânico

O ensaio de resistência à compressão realizou-se em uma máquina universal de ensaios DL10.000 da marca EMIC. Para cada amostra foram ensaiados 6 corpos-de-prova aos quatorze dias de idade.

3.4 FASE 4: PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DOS PAINÉIS DE CIMENTO PORTLAND REFORÇADOS COM BIOMASSA VEGETAL E ADIÇÃO DE ESCÓRIA DE ALTO-FORNO

Nesta fase ocorreu a produção dos painéis de cimento-biomassa vegetal, variando o teor de biomassa vegetal e escória de alto-forno. Após a moldagem, estes foram ensaiados quanto as suas características físicas e mecânicas. As etapas desta fase são apresentadas na Figura 6.

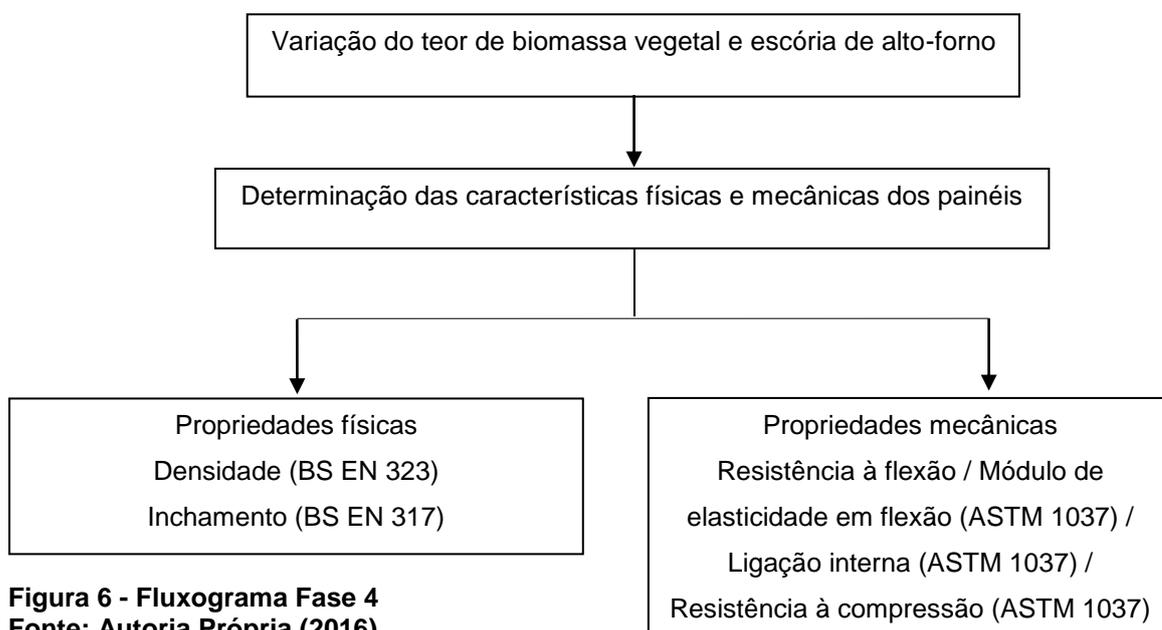


Figura 6 - Fluxograma Fase 4
Fonte: Autoria Própria (2016)

3.4.1 Definição dos traços

Com o objetivo de avaliar a variação do teor da biomassa vegetal nos painéis de cimento-biomassa vegetal, iniciou-se com uma relação cimento: biomassa vegetal de 4:1, e uma relação água: cimento de 0,4. Posteriormente, variou-se o teor de biomassa na composição.

Para o teor de água a ser adicionado a mistura, foi levado em consideração a umidade presente na biomassa, sendo que foi realizada a correção da água adicionada na mistura através da Equação (15) utilizada por Fan *et al* (1999).

$$\text{Água corrigida} = F(a/c)C + M(0,30 - TU) \quad (15)$$

Em que:

$F(a/c)$: fator água cimento;

C : quantidade de cimento em gramas;

M : quantidade de biomassa em gramas;

TU : teor de umidade da biomassa (%).

Utilizou-se teor de 4% de aditivo acelerador de pega, em relação à massa do cimento, na composição da mistura. Os traços adotados para os painéis são apresentados na Tabela 16, sendo que para cada traço foram gerados 4 painéis.

Tabela 16 - Traço dos painéis cimento-biomassa vegetal

Painel	Relação cimento:biomassa (kg)	Biomassa (%)	Relação água:cimento	Escória (%)	Aditivo cloreto de cálcio (%)
P1	4:1	25	0,4	-	4
P2	3,35:1	30	0,4	-	4
P3	2,85:1	35	0,4	-	4
P4	2,5:1	40	0,4	-	4
P5	2,22:1	45	0,4	-	4
P6	4:1	25	0,4	40	4
P7	3,35:1	30	0,4	40	4
P8	2,85:1	35	0,4	40	4
P9	2,5:1	40	0,4	40	4
P10	2,22:1	45	0,4	40	4

Fonte: Autoria Própria (2016)

Inicialmente colocou-se a biomassa e o cimento Portland, posteriormente adicionou-se a água e o aditivo acelerador de pega a mistura. Após isso, foram montadas as placas em formas de metal, com lados de dimensões 210 mm e 260 mm e espessura de 12,5 mm.

Subsequentemente, estas formas foram prensadas à temperatura ambiente, com uma carga aplicada de 21,84 t. Após a prensagem, os painéis foram retirados da prensa e mantidos dentro destas formas fechadas por 24 horas para garantir a pressão necessária sobre painel recém-moldado. Passado esse período de 24 horas, os parafusos foram soltos e os painéis removidos e colocados em uma sala climatizada para sua cura por 28 dias.

3.4.2 Propriedades físicas

A determinação da densidade realizou-se com base na BS EN 323: *Wood-based panels – Determination of density* (1993), no qual são retirados corpos de prova quadrados do painel (50 mm por 50 mm), estes foram colocados em uma sala com temperatura e umidade constantes até atingirem a constância da massa. Depois de atingido a constância de massa, os corpos de prova foram pesados, foram medidos seus lados e a espessura no centro da chapa. Calculou-se a densidade pela Equação (16).

$$\rho = \frac{m}{b * b * t} * 10^6 \quad (16)$$

Em que:

m: massa do corpo de prova (g);

b: dimensão do lado do corpo de prova (mm);

t: espessura do corpo de prova (mm).

Para a determinação do inchamento em espessura após imersão em água, foram utilizadas as premissas da BS EN 317: *Particleboards and fibreboards – Determination of swelling in thickness after immersion in water* (1993), no qual o inchamento de espessura da placa de 50 mm por 50 mm foi medido antes da imersão em água por 24 horas e depois da imersão. O inchamento da espessura foi calculado através da Equação (17):

$$G_r = \frac{t_2 - t_1}{t_1} * 100 \quad (17)$$

Em que:

G_r : inchamento em espessura (%);

t_1 : espessura antes da imersão da peça (mm);

t_2 : espessura depois da imersão da peça (mm).

3.4.3 Propriedades mecânicas

A resistência à flexão, o módulo de elasticidade, a resistência à compressão e a ligação interna dos painéis foram determinadas com base nas premissas da ASTM 1037: *Standard Test Methods for Evaluating Properties of wood-base fiber and Particle Panel Materials* (1982).

Para a resistência à flexão bem como o módulo de elasticidade, os corpos de prova retirados dos painéis possuíam espessura de 12,5 mm, largura de 50 mm e comprimento de 250 mm. Já para a resistência à compressão, foram cortados corpos de prova de 25 mm por 100 mm. Estes foram ensaiados na máquina universal EMIC, modelo DL 10000.

Na ligação interna dos painéis, foram cortados corpos de prova quadrados (50 X 50 mm). Montou-se um conjunto para cada corpo de prova, no qual em cada face do corpo de prova foi colado em placas de metal com o auxílio de um adesivo a base de epóxi, conforme demonstrado na Figura 7.



Figura 7 – Conjunto de placas de metal
Fonte: Aatoria Própria (2016)

Após a cura do adesivo, estes corpos de prova foram ensaiados na EMIC.

3.4.4 Microscopia eletrônica de varredura – MEV

Para verificar como os painéis cimento-biomassa vegetal se apresentavam internamente, utilizou-se a microscopia eletrônica da varredura (MEV) para retirada de imagens deste, utilizou-se o Microscópio eletrônico de varredura Carl Zeiss / EVO MA 15 do Centro Multiusuário de Caracterização de Materiais (CMCM) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, equipado com: detectores de elétrons secundários (SE) de alto vácuo (HV) e de pressão variável (VP) e de elétrons retroespalhados (BSE); detector EDS Oxford X-Max de 20 mm²; detector WDS Oxford IncaWave 500 com cristal adicional para análise de nitrogênio; vaporizador de ouro e carbono para recobrimento de amostras não condutoras.

3.4.5 Requisitos de normas

Para a análise das características dos painéis, foram utilizados os parâmetros de duas normas internacionais: ISO 8355: *Cement-bonded particleboards – Boards of Portland or equivalente cement reinforced with fibrous wood particles* (1987) e BS EN 1058: *Wood-based panels – Determination of characteristic values of mechanical properties and density* (2009), e a norma comercial Bison (1978), os parâmetros destas são citados na Tabela 17.

Tabela 17 - Parâmetros de aceitação segundo a ISO 8355 (1987) e EN 1058 (2009)

Parâmetros	Massa específica (g/cm ³)	Inchamento em espessura (%)	Ligação interna (N/mm ²)	Resistência		
				à compressão (MPa)	MOR (N/mm ²)	MOE (N/mm ²)
ISO 8355	>1,00	<2,00	0,45	-	9,00	3000
EN 1058	>1,00	<1,5	0,50	-	9,00	4500
BISON	>1,25	<1,5	0,40	15	9,00	3000

Fonte: Aatoria Própria (2016)

3.4.6 Análise estatística dos dados

Após o encerramento de cada fase experimental realizou-se o tratamento estatístico dos dados com o intuito de verificar a existência de diferença estatística entre estes. A verificação da existência de diferenças significativas entre os tratamentos e composições foi realizada mediante a Análise da Variância (ANOVA) através do *Software Action* (EQUIPE ESTATCAMP, 2014).

Para a análise da diferença entre as diversas médias dos dados utilizou-se o procedimento para a comparação de médias Tukey ao nível de significância de 5%, foi utilizado o mesmo *Software*.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos desde a caracterização dos materiais utilizados até as características dos painéis produzidos.

4.1 FASE 1: ESTUDO PRELIMINAR – CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS E ANÁLISE DA INTERAÇÃO ENTRE O CIMENTO PORTLAND E OS RESÍDUOS VEGETAIS (BIOMASSA VEGETAL DE BAMBU E BIOMASSA VEGETAL DE CANA-DE-AÇÚCAR)

São apresentados os resultados da caracterização dos materiais utilizados na pesquisa, bem como os resultados da interação entre o cimento e a biomassa sem tratamento.

4.1.1 Caracterização da biomassa de bambu mossô e de cana-de-açúcar

A Tabela 18 apresenta os resultados de caracterização das biomassas.

Tabela 18 - Caracterização química das biomassas

Ensaio	Bambu mossô	Cana-de-açúcar
Umidade (%)	10,93	10,14
Solubilidade em água fria (%)	2,32	2,93
Solubilidade em água quente (%)	3,93	3,39
Solubilidade em NaOH (%)	20,30	32,27
Lignina (%)	46,63	34,49
Cinzas (%)	2,24	4,43
pH (2h)	9,3	10,1
pH (24h)	9,3	10,1
Extrativos totais (%)	4,27	4,69
Dimensão máxima característica (mm)	1,18	1,18
Módulo de finura	3,43	3,46
Massa específica – Chapman (g/cm ³)	0,75	0,96

*Valores Médios de três repetições

Fonte: Autoria Própria (2016)

Com base nos resultados apresentados na Tabela 18, pôde-se observar que a solubilidade em NaOH eliminou grande percentagem de substâncias da biomassa, isso deve-se ao fato de que a solução de hidróxido de sódio elimina, não somente os extrativos presentes na biomassa, mas também, demais componentes da biomassa como a celulose e as degrada as hemiceluloses. Segundo Wei *et al* (2002) estes componentes resultantes da degradação das hemiceluloses são os principais inibidores da cura do cimento.

Para a solubilidade em água fria, verifica-se que as duas biomassas apresentam baixos teores de extrativos. A extração com água fria elimina componentes inorgânicos, taninos, gomas, açúcares e material corante presente na madeira. Os açúcares presentes na madeira são tidos como os maiores responsáveis pela inibição da cura do cimento (CASTRO, 2015).

Também verifica-se que a solubilidade em água quente não eliminou elevado teores de extrativos. Segundo Castro (2015), extrativos solúveis em água quente são apontados como um dos principais inibidores do cimento. Entre esses extrativos pode-se destacar os taninos hidrolisados, compostos por açúcares e ácidos gálico e elágico. Esses extrativos reagem com os íons de hidróxido de cálcio do cimento inibindo a cura deste.

A Figura 8-a e Figura 8-b apresentam as cinzas do bambu mossô e da cana-de-açúcar, respectivamente.



Figura 8 - a) Cinzas do bambu mossô. b) Cinzas da cana-de-açúcar
Fonte: Autoria Própria (2016)

Com relação ao teor de cinzas, estas referem-se ao teor de material orgânico em sua composição, os principais componentes encontrados nas cinzas

são o cálcio, potássio, magnésio e sílica. A sílica pode reagir com o hidróxido de cálcio e formar uma quantidade extra de gel C-S-H, responsável, este, pela resistência do cimento (BIRICIK *et al.*, 1999; FENGEL, 1989). Além disso, segundo Iwakiri *et al.* (2005) a utilização de madeiras de espécies com alto teor de cinzas promove o desgaste das ferramentas de corte utilizadas na conversão das toras em partículas.

Com relação ao pH da biomassa, pôde-se verificar que as duas espécies apresentam pH alcalino, o que segundo Hachmi e Moslemi (1990), pode afetar a cristalinização do cimento, pois estes extrativos alcalinos tendem a formar complexos permanentes com os íons de cálcio, que impedem os núcleos de atingirem o tamanho crítico necessário para a cristalização.

No que se refere ao teor de extrativos totais, verifica-se que as duas biomassas apresentam valores próximo e considerados baixos quando comparados com outras espécies da literatura, como *Hevea brasiliensis* estudada por Oliveira Junior (2011), que encontrou teores de extrativos superiores, variando de 6,96 a 8,07%.

Altos teores de extrativos afetam a produção do compósito cimento-madeira, pois estes são responsáveis pela incompatibilidade química entre a biomassa vegetal e o cimento. Podendo retardar e, em alguns casos, impedir a cura do cimento, sendo necessária a utilização de algum processo para minimizar a influência dessas substâncias sobre a hidratação do cimento (BERALDO, SAMPAIO, 2002; BERALDO, CARVALHO, 2004).

Ainda na Tabela 18, pôde-se observar a relação entre a solubilidade da biomassa e a compatibilidade desta com o cimento, pois quanto mais elementos solúveis esta apresenta, tanto em água como em soluções, mais incompatível será esta espécie com o cimento.

A Figura 9 apresenta a distribuição granulométrica para a biomassa de bambu mossô e cana-de-açúcar.

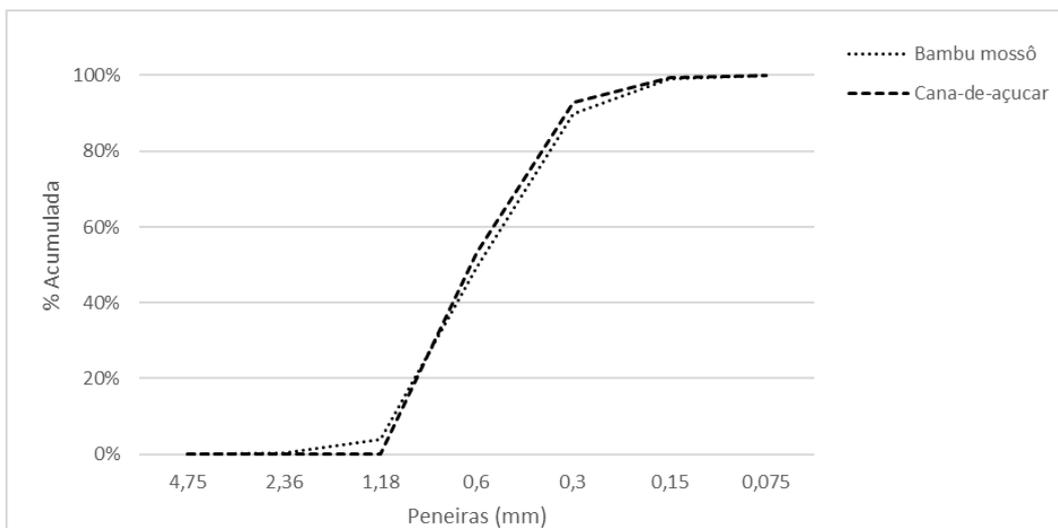


Figura 9 - Distribuição granulométrica para a biomassa de bambu mossô e cana-de-açúcar
Fonte: Autoria Própria (2016)

Pôde-se observar que as duas biomassas apresentam dimensão máxima característica de 1,18 mm, e módulo de finura de 3,43 e 3,46 para a biomassa de bambu e cana-de-açúcar, respectivamente.

4.1.1.1 Índice de cristalinidade

A Figura 10 e Figura 11 apresentam os difratogramas de raios x para o bambu mossô e a cana-de-açúcar sem tratamento, respectivamente.

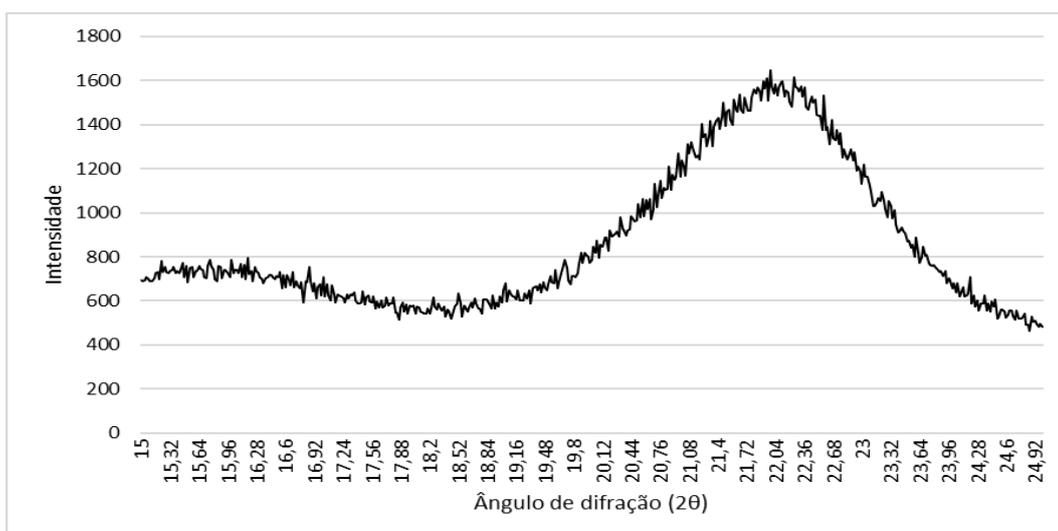


Figura 10 - Difratograma de raios x para o bambu mossô sem tratamento
Fonte: Autoria Própria (2016)

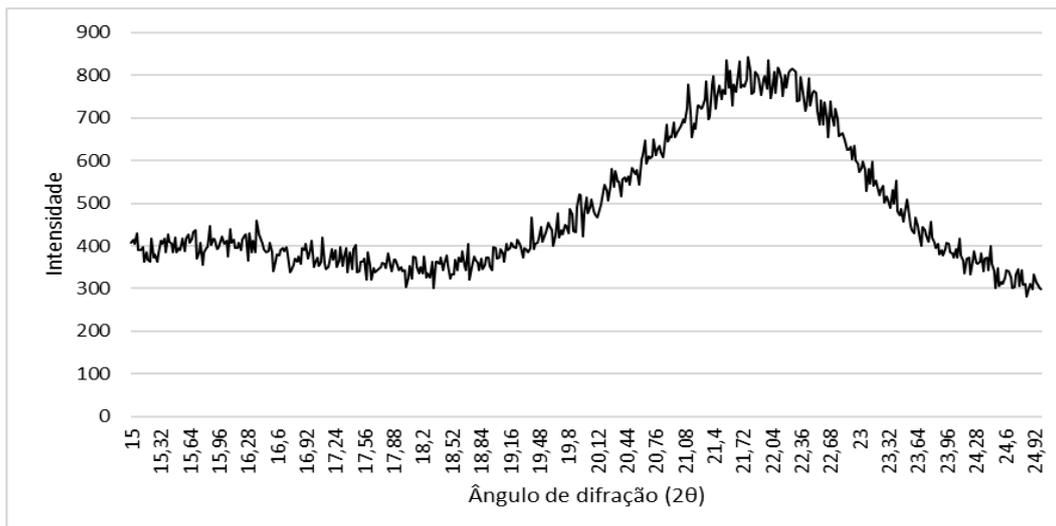


Figura 11 - Difratograma de raios x para a cana-de-açúcar sem tratamento
Fonte: Autoria Própria (2016)

Para a biomassa de bambu mossô sem tratamento, o índice de cristalinidade foi de 68,53. Já para a cana-de-açúcar esse índice foi de 49,72.

O índice de cristalinidade das fibras está diretamente ligado às propriedades mecânicas dos compósitos, assim, quanto mais cristalino for a fibra, ou seja, o índice mais próximo de 100, melhor desempenho esta apresentará para ser utilizada como reforço em painéis de cimento-biomassa vegetal.

Assim, o bambu mossô seria o mais indicado para a utilização em painéis de cimento-biomassa vegetal, quando comparado com a cana-de-açúcar.

4.1.2 Caracterização da escória de alto-forno

São apresentados os resultados de caracterização da escória de alto-forno à carvão vegetal, como distribuição granulométrica, superfície específica, massa específica, espectroscopia por fluorescência de Raios X e difração de Raios X.

4.1.2.1 Espectroscopia por fluorescência de Raios X

A análise química semi-quantitativa por espectroscopia por fluorescência de raios x é apresentada na Tabela 19.

Tabela 19 - Composição química da escória de alto-forno à carvão vegetal

Componente	Nome	Teor (%)
SiO ₂	Dióxido de silício	39,7
CaO	Óxido de cálcio	32,8
Al ₂ O ₃	Óxido de alumínio	12,9
MgO	Óxido de magnésio	7,2
Fe ₂ O ₃	Óxido de ferro (III)	2,6
TiO ₂	Óxido de titânio	0,7
K ₂ O	Óxido de potássio	0,7
MnO	Óxido de manganês	0,6
Na ₂ O	Óxido de sódio	0,1
SrO	Óxido de estrôncio	0,1
SO ₃	Óxido sulfúrico	0,1
ZrO ₂	Óxido de zircônio	0,1
Cr ₂ O ₃	Óxido de cromo (III)	< 0,1
P ₂ O ₅	Óxido de fósforo (III)	< 0,1
P.F.	Perda ao fogo	2,35
CaO/SiO ₂		0,83
CaO+MgO+Al ₂ O ₃ /SiO ₂ > 1,0 NBR 5735 (1991)		1,33
(CaO+SiO ₂ +MgO) ≥ 2/3 total EN 197-1 (2000) e BS 6699 (1992)		79,7

Fonte: Aatoria Própria (2016)

Observa-se que a escória é composta por pelo menos 2/3 da soma dos óxidos de cálcio (CaO), silício (SiO₂) e magnésio (MgO) da massa total dos óxidos que a compõem, o que segundo a norma europeia EN 197-1 (2000) e a norma britânica BS 6699 (1992) é um requisito para a utilização de escoria em cimentos de alto forno. No que se refere a NBR 5735 (1991), esta também cumpre o determinado referente à relação entre seus principais componentes.

Pela relação CaO/SiO₂, a qual classifica escórias como ácidas (C/S<1) e básicas (C/S>1), esta escória apresenta valor de 0,83, sendo classificada como ácida.

4.1.2.2 Distribuição granulométrica e Finura Blaine

Os resultados de superfície específica, massa específica e a finura da escória de alto-forno são apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 - Finura Blaine

Superfície específica (cm ² /g)	Massa específica (g/cm ³)	Finura (%)
3728,83	2,41	12,18

Fonte: Autoria Própria (2016)

Com relação à superfície específica, a escória atende as especificações da norma britânica BS 6699: *Specification for Ground granulated blastfurnace slag for use with Portland cement* (1992), que estabelece que a escória deve possuir finura/superfície específica superior a 2750 cm²/g, já a ASTM C 989: *Standard Specification for Slag Cement for Use in Concrete and Mortars* (1999) estabelece que as escórias devem possuir superfície específica de 4950 cm²/g, assim, a escória adotada não atende a norma americana. Referente a finura por meio da peneira 75 µm, está não atende a NBR 5735: *Cimento Portland de alto-forno* (1991) que estabelece um limite máximo de 8,00%, ou seja, esta não apresenta finura necessária para ser utilizada como adição em cimento Portland de alto-forno.

4.1.2.3 Difração de Raios X

A Figura 12 apresenta o difratograma da escória de alto-forno.

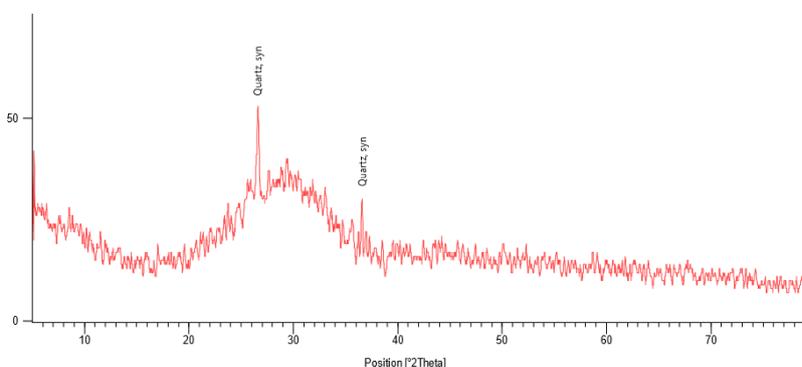


Figura 12 - Difração de Raios X para a escória de alto-forno à carvão vegetal

Fonte: Autoria Própria (2016)

Observa-se que a escória apresenta dois picos de quartzo (SiO_2), e através da análise do difratograma desta, verifica-se que esta é um material amorfo, devido ao fato de não apresentar picos característicos e dessa forma a ausência de um arranjo ordenado e periódico de átomos.

Além disso, o dióxido de silício (sílica – SiO_2) tende a reagir com o hidróxido de cálcio presente no cimento, e formar uma quantidade extra de silicato de cálcio hidratado, principal responsável pelo aumento da resistência à compressão na matriz cimentícia.

4.1.3 Ensaio de inibição

Com base nos resultados obtidos no calorímetro, foi possível determinar a temperatura máxima atingida pela pasta e pelos compósitos, bem como o tempo em que esta temperatura ocorreu, sendo possível determinar o índice de compatibilidade das biomassas de bambu mossô e cana-de-açúcar, os dados são apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 - Valores médios de temperatura, tempo, e variação da temperatura pelo tempo.

	Temperatura máxima (°C)	Classificação quanto à temperatura	Tempo mínimo (h)	I (%)	Classificação quanto ao índice de inibição
Bambu mossô (sem tratamento)	29,13	Incompatível	14	31,77	Moderada inibição
Cana-de-açúcar (sem tratamento)	22,40	Incompatível	2	60,06	Alta inibição
Pasta referência	92,33		9,5	-	

*Valores Médios de três repetições

Fonte: Autoria Própria (2016)

Com base na Equação 1, foi possível determinar o índice de inibição para o bambu mossô de 31,77 e para a cana-de-açúcar de 60,06. Assim, a biomassa de bambu mossô pode ser considerada um resíduo que apresentará moderada inibição sobre o cimento, e a cana-de-açúcar apresentará alta inibição sobre o cimento.

No que se refere a máxima temperatura de hidratação, segundo Sandermann e Kholer (1964) *apud* Hachmi *et al* (1990), estes dois resíduos são considerados incompatíveis com o cimento, devido a suas máximas temperaturas de hidratação (29,13°C e 22,40°C para o bambu mossô e cana-de-açúcar, respectivamente), apresentam-se inferiores a 50°C.

As curvas de hidratação da pasta de cimento, cimento e bambu mossô sem tratamento, e, cimento e cana-de-açúcar sem tratamento são apresentadas na Figura 13

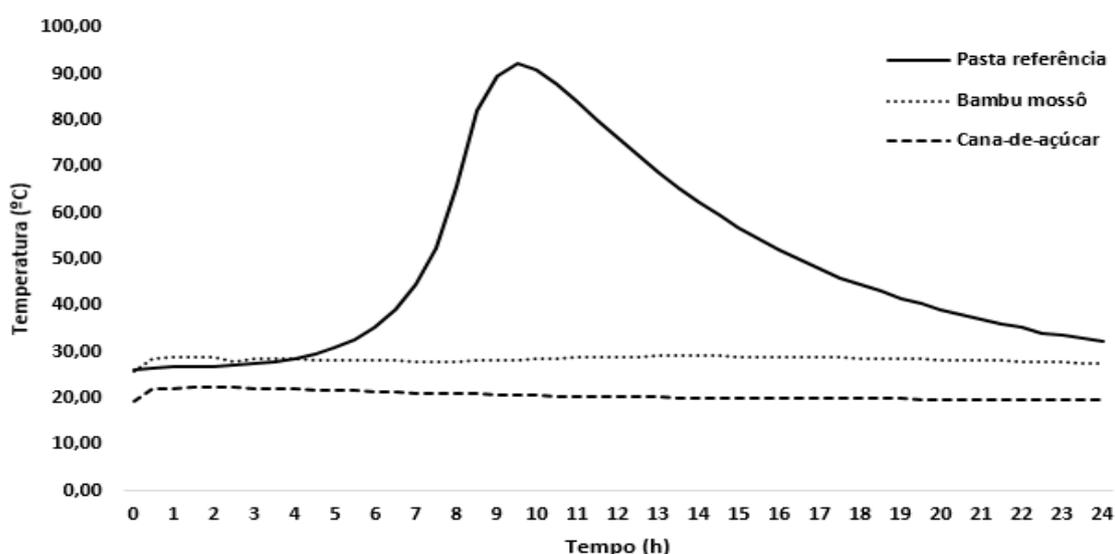


Figura 13 - Curvas de hidratação da pasta, do compósito de biomassa bambu mossô sem tratamento e do compósito de biomassa de cana-de-açúcar sem tratamento

Fonte: Autoria Própria (2016)

Observa-se que tanto a mistura com bambu mossô como a com cana-de-açúcar não atingiram a temperatura máxima de hidratação do cimento CPV-ARI. Este fato pôde ter ocorrido devido ao alto teor de materiais solúveis, tanto em água como em soluções, presente nas duas biomassas. Assim, pôde-se concluir que as duas biomassas apresentam elevado efeito inibitório sobre o CPV-ARI.

Também pôde-se observar que a adição da biomassa de bambu mossô apresentou tempo superior para atingir a temperatura máxima (14 horas), quando comparada com a pasta padrão (9,5 horas), já para a biomassa de cana-de-açúcar o tempo para atingir a temperatura máxima (2 horas) foi inferior ao tempo da temperatura da pasta padrão (9,5 horas). Assim, pôde-se concluir que tanto a

biomassa de bambu mossô como a biomassa de cana-de-açúcar apresentam efeito inibitório sobre o CPV-ARI.

4.1.4 Ensaio mecânico

A Tabela 22 apresenta os valores obtidos para a resistência à compressão dos corpos-de-prova moldados com biomassa de bambu mossô.

Tabela 22 - Resistência à compressão para os compósitos com biomassa de bambu mossô

Relação água:cimento	Traço	Biomassa de Bambu (%)	Resistência à compressão (MPa)	Coefficiente de variação (%)
a:c=0,4 (7 dias de idade)	T1	7,5	9,34 ^{BC}	6,43
	T2	10	10,77 ^{AB}	7,81
	T3	12,5	11,20 ^A	3,07
	T4	15	9,72 ^{ABC}	10,03
	T5	17,5	8,58 ^C	6,81
	T6	20	9,60 ^{BC}	2,29
a:c=0,5 (7 dias de idade)	T1	7,5	11,65 ^A	27,69
	T2	10	10,35 ^{AB}	13,85
	T3	12,5	7,30 ^{BC}	16,88
	T4	15	7,02 ^{BC}	4,41
	T5	17,5	5,11 ^C	5,28
	T6	20	4,61 ^C	9,05
a:c=0,6 (7 dias de idade)	T1	7,5	10,02 ^A	6,24
	T2	10	7,36 ^B	14,55
	T3	12,5	6,53 ^{BC}	5,35
	T4	15	6,01 ^C	11,56
	T5	17,5	6,43 ^{BC}	5,64
	T6	20	5,52 ^C	2,39
	T7	22,5	3,29 ^D	5,51
	T8	25	2,77 ^D	9,56

*Valores médios de quatro repetições

**Médias seguidas pela mesma letra dentro da mesma coluna, para a mesma relação água:cimento, não se diferenciam estatisticamente, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: Autoria Própria (2016)

Pôde-se observar que a resistência à compressão, diminui conforme aumentado o teor de biomassa nos compósitos, isso deve-se ao fato de que com o maior teor de biomassa na mistura, ocorre a falta de água para a total hidratação do cimento Portland, afetando assim, a resistência à compressão dos compósitos.

Com base na ANOVA, para as relações a:c=0,4, a:c=0,5 e a:c=0,6, pôde-se afirmar que há diferenças significativas entre as variâncias para a resistência à compressão dos corpos-de-prova.

Essa redução na resistência à compressão conforme variação do teor de biomassa na composição, deve-se ao fato de apresentar-se uma maior quantidade de partículas finas na mistura, aumentando a superfície de contato, e conseqüentemente, necessitando de uma quantidade de água maior para a molhagem total dessa superfície. Além de que ocorre uma redução da massa de cimento, influenciando na resistência à compressão dos compósitos.

Outro fator que pôde ter influenciado a resistência à compressão dos compósitos feitos com bambu mossô é a presença de sílica neste. Segundo Yu (2007) o bambu apresenta um alto teor de sílica (2-3%), e esta quando em contato com o hidróxido de cálcio, acaba por elevar a resistência do cimento (BIRICIK *et al*, 1999).

A Tabela 23 apresenta os valores de resistência à compressão dos corpos-de-prova moldados com a biomassa de cana-de-açúcar.

Tabela 23 - Resistência à compressão para os compósitos com biomassa de cana-de-açúcar

Relação água:cimento	Traço	Biomassa de cana- de-açúcar (%)	Resistência à compressão (MPa)	Coefficiente de variação (%)
a:c=0,4 (7 dias de idade)	T1	7,5	0,10 ^B	6,30
	T2	10	0,14 ^A	13,60
	T3	12,5	0,06 ^C	23,57
a:c=0,5 (14 dias de idade)	T1	7,5	0,12 ^A	15,68
	T2	10	0,08 ^B	12,69
	T3	12,5	0,09 ^{AB}	7,38
	T4	15	0,11 ^A	12,86
a:c=0,6 (21 dias de idade)	T1	7,5	0,58 ^A	17,64
	T2	10	0,29 ^B	28,03
	T3	12,5	0,09 ^C	11,11
	T4	15	0,14 ^C	10,74

Onde: R.C.: Resistência à compressão/ C.V.: Coeficiente de variação

*Valores médios de quatro repetições

**Médias seguidas pela mesma letra dentro da mesma coluna, para a mesma relação água:cimento, não se diferenciam estatisticamente, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: Autoria Própria (2016)

Através da ANOVA constatou-se que há diferenças significativas para a resistência à compressão dos corpos-de-prova para as diferentes relações de água:cimento.

Os baixos valores de resistência à compressão da cana-de-açúcar devem-se ao fato de que quando a cana-de-açúcar era incorporada a mistura, essa não permitia a processo de hidratação do cimento. Além disso, esta pôde ter sofrido influência da quantidade de material fino presente na biomassa, ou seja, a medula, o que acaba por influenciar a hidratação do cimento. Devido a sua maior quantidade de finos e conseqüentemente, maior área superficial, necessita-se de mais água para a molhagem de todas as partículas, refletindo em aumento da relação água/cimento, acabando por influenciar nos compósitos que apresentavam as menores relações de água/cimento, pois não apresentavam água suficiente para a molhagem completa das partículas.

Além disso, a composição do bagaço pôde ter influenciado na cura do cimento, que, segundo Sarmiento (1996), pode apresentar uma grande

quantidade de medula em sua composição e, conseqüentemente, um grande teor de açúcar residual, ou seja, sacarose, que influencia negativamente na pega e no endurecimento do cimento. Outro fator que pôde ter influenciado, é o alto teor de extrativos solúveis em NaOH, pois devido a alta alcalinidade da matriz cimentícia, pôde ter ocorrido a degradação das hemiceluloses, afetando assim, a temperatura de hidratação do cimento e conseqüentemente as características mecânicas dos compósitos. Os corpos de prova quando eram ensaiados à resistência à compressão, não apresentavam ruptura, simplesmente deformavam, conforme Figura 14.



Figura 14 - a) Corpos de prova de biomassa de cana – de açúcar b) Corpo de prova de biomassa de cana – de – açúcar após ensaiado à compressão axial
Fonte: Autoria Própria (2016)

Verifica-se que a resistência à compressão dos corpos-de-prova está ligada a temperatura de hidratação do cimento. Também pôde-se observar que nem todas as relações água:cimento comportaram todos os teores de biomassa, isso deve-se ao fato de que estes apresentavam pequena massa específica, o que acabava por influenciar no volume de material adicionado a mistura.

4.1.5 Ensaio físicos

Para cada traço foram determinadas suas características físicas, a Tabela 24 apresenta os valores obtidos para os compósitos com biomassa de bambu mossô.

Tabela 24 - Ensaio físicos para os compósitos com biomassa de bambu mossô aos sete dias

Traço	Abs. de água (%)	C.V.	Índice de vazios (%)	C.V.	ρ_s (g/cm ³)	C.V.	ρ_{SAT} (g/cm ³)	C.V.	ρ_R (g/cm ³)	C.V.
Relação a:c=0,4										
T1	25,37 ^D	1,95	37,54 ^C	2,50	1,48 ^A	0,56	1,86 ^A	0,95	2,37 ^A	2,06
T2	28,13 ^{BC}	3,19	38,49 ^{BC}	1,04	1,37 ^B	2,43	1,75 ^C	1,74	2,23 ^B	2,00
T3	29,11 ^{AB}	0,19	40,00 ^{AB}	1,07	1,37 ^B	1,04	1,77 ^{BC}	1,04	2,29 ^{AB}	1,75
T4	26,69 ^{CD}	3,31	38,56 ^{BC}	1,45	1,45 ^A	2,48	1,83 ^{AB}	1,89	2,35 ^A	2,37
T5	29,57 ^{AB}	0,56	40,72 ^A	1,24	1,38 ^B	1,01	1,78 ^{BC}	1,04	2,32 ^{AB}	1,81
T6	30,08 ^A	0,98	41,31 ^A	1,67	1,37 ^B	0,83	1,79 ^{BC}	1,00	2,34 ^{AB}	1,98
Relação a:c=0,5										
T1	31,54 ^B	2,30	42,24 ^A	1,54	1,34 ^A	1,91	1,76 ^A	1,55	2,32 ^A	2,34
T2	31,84 ^B	2,47	41,92 ^A	1,39	1,32 ^{AB}	1,54	1,74 ^A	1,07	2,27 ^{AB}	1,44
T3	33,15 ^B	1,69	42,43 ^A	1,36	1,28 ^{BC}	0,39	1,70 ^{AB}	0,20	2,22 ^{AB}	0,72
T4	34,22 ^{AB}	2,53	42,42 ^A	1,83	1,24 ^C	0,81	1,66 ^B	0,32	2,15 ^B	0,79
T5	38,52 ^A	6,34	42,16 ^A	5,41	1,10 ^D	1,51	1,52 ^C	1,28	1,90 ^C	3,45
T6	35,89 ^{AB}	9,26	38,05 ^A	9,71	1,06 ^D	1,61	1,44 ^D	3,17	1,72 ^D	6,54
Relação a:c=0,6										
T1	36,84 ^D	2,33	45,68 ^{BC}	0,39	1,24 ^A	2,07	1,70 ^A	1,46	2,28 ^{ABC}	1,94
T2	37,62 ^{CD}	2,22	45,30 ^C	0,57	1,20 ^{AB}	1,88	1,66 ^{BC}	1,29	2,20 ^C	1,66
T3	39,56 ^{CD}	2,67	46,61 ^{BC}	1,69	1,18 ^{BC}	1,17	1,64 ^{BC}	0,62	2,21 ^C	1,07
T4	39,80 ^C	0,49	47,38 ^B	0,77	1,19 ^B	0,54	1,66 ^{AB}	0,57	2,26 ^{ABC}	1,16
T5	44,34 ^B	3,28	50,75 ^A	1,95	1,15 ^{CD}	1,34	1,65 ^{BC}	0,41	2,33 ^A	0,88
T6	45,22 ^B	1,77	50,95 ^A	0,72	1,13 ^D	1,22	1,64 ^{BC}	0,70	2,30 ^{AB}	0,87
T7	44,17 ^B	3,50	49,62 ^A	2,52	1,12 ^D	1,19	1,62 ^C	0,55	2,23 ^{BC}	1,74
T8	52,33 ^A	1,79	51,26 ^A	1,71	0,98 ^E	0,12	1,49 ^D	0,55	2,01 ^D	1,74

Onde: Abs. de água: Absorção de água / C.V.: Coeficiente de variação / ρ_s : Massa específica amostra seca / ρ_{SAT} : Massa específica amostra saturada / ρ_R : Massa específica real

*Valores médios de quatro repetições

**Médias seguidas pela mesma letra dentro da mesma coluna, para a mesma relação água:cimento, não se diferenciam estatisticamente, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: Autoria Própria (2016)

Para as relações de água:cimento de 0,4 e 0,6 verifica se que há diferenças significativas, entre os traços, para todos os índices físicos, segundo a

ANOVA. Já para a relação a:c=0,5, com base na ANOVA, há diferenças significativas para todos índices físicos com exceção do índice de vazios.

Com base nos dados da Tabela 24, pôde-se observar que quanto maior o teor de biomassa de bambu mossô na mistura, maior a sua absorção de água, e menor se tornava a massa específica da amostra seca, massa específica da amostra saturada e massa específica real. Com relação ao índice de vazios, pôde-se observar que este sofreu influência do alto teor de material fino presente na biomassa. Também observa-se que há uma relação entre o índice de vazios e a absorção de água dos corpos de prova, quanto mais vazios permeáveis nos corpos de prova, maior era a absorção de água destes. A redução das massas específicas deve-se ao fato de que a cada mistura era acrescentado uma percentagem de biomassa de bambu, ou seja, um material leve.

Para a absorção de água e o índice de vazios, observa-se que quanto maior a relação água:cimento, maior estes se tornavam, isto ocorre devido ao fato de que ao aumentar a relação água:cimento, havia um aumento da quantidade de água presente no compósito, gerando uma quantidade de água extra, esse excesso de água acaba por tornar a pasta cimentícia mais porosa, aumentando assim, a absorção de água e o índice de vazios dos compósitos.

Além disso, outro fator que pode ter influenciado a absorção de água, é que a celulose é higroscópica, ou seja, devido ao fato de que a molécula de celulose apresenta grandes quantidades de hidroxilas (OH) em sua composição, esta é capaz de ligar-se a água através de suas hidroxilas, absorvendo água do ambiente.

Para a biomassa de cana-de-açúcar não foi possível determinar as características físicas dos corpos de prova, devido ao fato de que a cana-de-açúcar interferir negativamente no processo de hidratação do cimento, não permitindo o endurecimento do compósito.

4.1.6 Definição do traço

Baseando-se nos resultados de resistência a compressão, definiu-se o traço referencial adotado para a Fase 2:

- Relação cimento-biomassa vegetal de 13,33:1, com uma relação água/cimento de 0,50 para o bambu mossô;

- Para a cana-de-açúcar a relação cimento-biomassa vegetal foi de 13,33:1, com uma relação água/cimento de 0,6.

4.2 FASE 2: ANÁLISE DO PRÉ-TRATAMENTO NA BIOMASSA, ATRAVÉS DA AVALIAÇÃO DA INTERAÇÃO ENTRE O CIMENTO PORTLAND E AS BIOMASSAS VEGETAIS PRÉ-TRATADAS E ADITIVO ACELERADOR DE PEGA

São apresentadas as análises da interação entre a biomassa pré-tratada e o cimento Portland, bem como a análise do efeito do aditivo acelerador de pega a base de cloreto de cálcio na mistura.

4.2.1 Índice de cristalinidade

A Figura 15 e a Tabela 25 apresentam os difratogramas de raios x e os índices de cristalinidade para o bambu mossô, respectivamente.

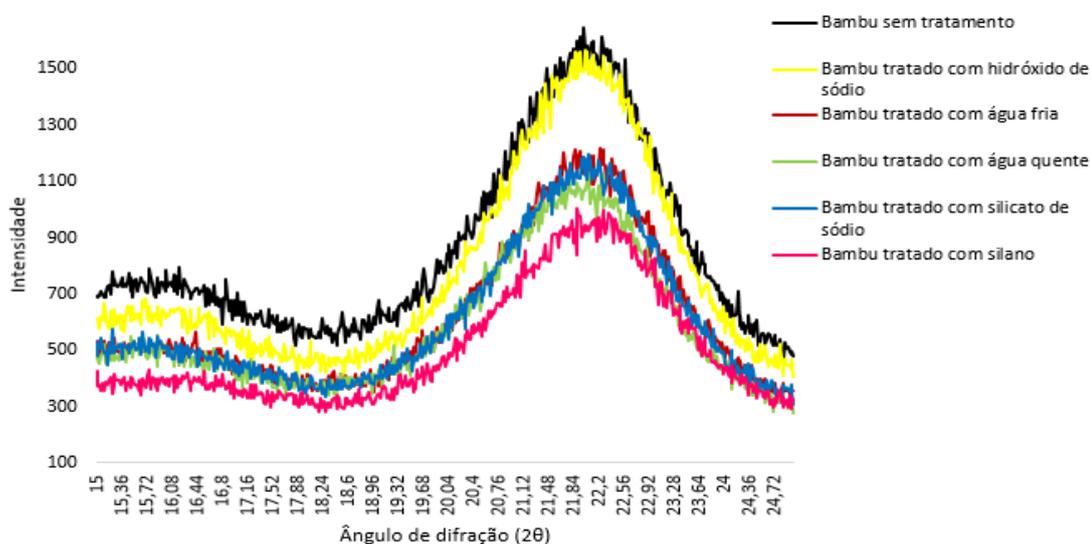


Figura 15 - Difratogramas de raios x para o bambu mossô
Fonte: Autoria Própria (2016)

Tabela 25 - Índices de cristalinidade para o bambu mossô

Tratamento	Índice de cristalinidade (%)
Bambu sem tratamento	58,64
Bambu tratado com hidróxido de sódio	65,60
Bambu tratado com silicato de sódio	64,02
Bambu tratado com água quente	63,32
Bambu tratado com água fria	64,81
Bambu tratado com silano	68,13

Fonte: Autoria Própria (2016)

Verifica se que todos os pré-tratamentos realizados na fibra acabaram por influenciar o índice de cristalinidade, sendo que o tratamento que elevou significativamente a cristalinidade da fibra foi o realizado com silano, aumentando em 16% o índice de cristalinidade. Este tratamento atua como agente acoplador na fibra, modificando sua interface e aumentando a sua cristalinidade.

A Figura 16 e a Tabela 26 apresentam os difratogramas de raios x e os índices de cristalinidade para a cana-de-açúcar, respectivamente.

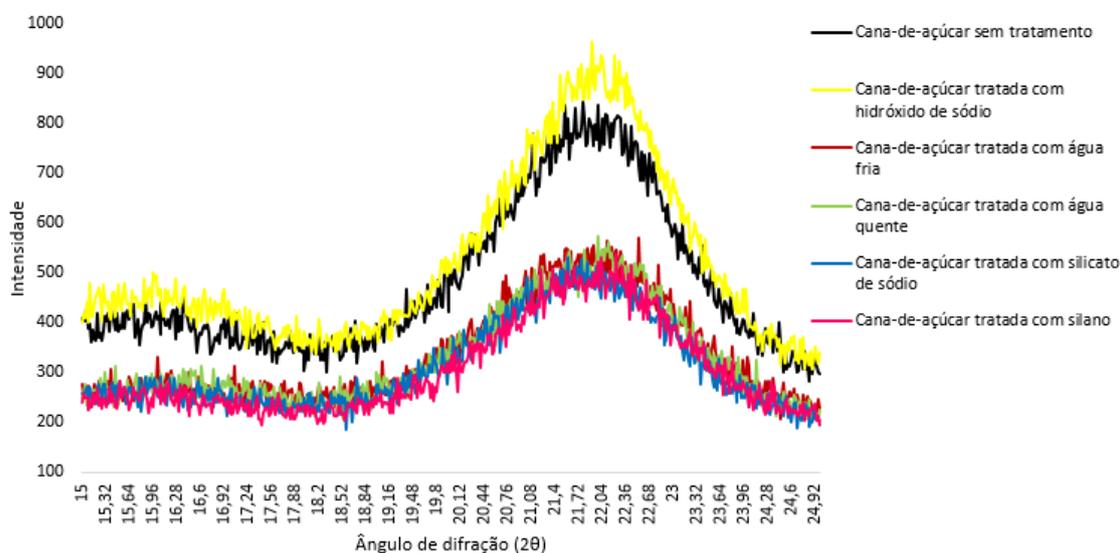


Figura 16 - Difratogramas de raios x para a cana-de-açúcar
 Fonte: Autoria Própria (2016)

Tabela 26 - Índices de cristalinidade para a cana-de-açúcar

Tratamento	Índice de cristalinidade (%)
Cana-de-açúcar sem tratamento	49,72
Cana-de-açúcar tratada com hidróxido de sódio	52,15
Cana-de-açúcar tratada com silicato de sódio	48,70
Cana-de-açúcar tratada com água quente	43,27
Cana-de-açúcar tratada com água fria	44,07
Cana-de-açúcar tratada com silano	51,00

Fonte: Autoria Própria (2016)

Dos cinco pré-tratamentos realizados na fibra de cana-de-açúcar somente dois destes elevaram o índice de cristalinidade da fibra, sendo estes os tratamentos realizados com hidróxido de sódio e silano, aumentando em 4% e 2% o índice de cristalinidade, respectivamente. Os demais tratamentos acabaram por influenciar negativamente este índice.

Observa-se que para a biomassa de cana-de-açúcar o tratamento mais eficiente para o aumento da cristalinidade foi o realizado com hidróxido de sódio. Tratamentos alcalinos, como no caso do hidróxido de sódio, são eficientes para a retirada de extraíveis amorfos das fibras vegetais, aumentando o índice de cristalinidade da fibra (OLIVEIRA, MARQUEZE e MERAT, 2013).

4.2.2 Ensaio de inibição

A Tabela 27 apresenta os valores médios de temperatura máxima, tempo mínimo e índice de inibição para os compósitos feitos com a biomassa do bambu mossô.

Tabela 27 - Valores médios de temperatura, tempo, e índice de inibição para o compósito com biomassa de bambu mossô

	Temperatura máxima (°C)	Classificação quanto à temperatura	Tempo mínimo (h)	I (%)	Classificação quanto ao índice de inibição
Pasta Padrão	92,33 ^A	-	9,5 ^D	-	-
Sem tratamento	29,13 ^C	Incompatível	14 ^C	31,77 ^B	Moderada inibição
Hidróxido de sódio	25,13 ^C	Incompatível	2 ^F	57,65 ^A	Alta inibição
Silicato de sódio	58,3 ^B	Intermediariamente compatível	14 ^C	9,62 ^F	Baixa inibição
Água fria	57,33 ^B	Intermediariamente compatível	15,5 ^A	16,42 ^D	Moderada inibição
Água quente	61,3 ^B	Compatível	15 ^B	11,65 ^E	Moderada inibição
Silano	57 ^B	Intermediariamente compatível	15,5 ^A	17,17 ^C	Moderada inibição
Sem tratamento + 4% de cloreto de cálcio	81,8 ^A	Compatível	4 ^E	5,44 ^G	Baixa inibição

*Valores médios de três repetições

**Médias seguidas pela mesma letra dentro da mesma coluna não se diferenciam estatisticamente, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: A autoria Própria (2016)

Com base nos índices de inibição, verifica-se que o tratamento que aumentou significativamente a compatibilidade entre o cimento CPV-ARI e a biomassa de bambu mossô foi o realizado com aditivo cloreto de cálcio, seguido do silicato de sódio, água quente, água fria e silano, já o pré-tratamento feito com hidróxido de sódio (NaOH), acabou por amplificar a incompatibilidade entre o cimento e a biomassa.

Observa-se que o tratamento com hidróxido de sódio afetou negativamente a temperatura de hidratação do cimento CPV-ARI, e o índice de compatibilidade, aumentando a incompatibilidade em 81%, quando comparado ao compósito com bambu *in natura*. Isso deve-se ao fato de que a solução de hidróxido de sódio elimina, não somente os extrativos da biomassa, mas também demais componentes desta como a celulose e as hemiceluloses, influenciando assim na hidratação do cimento. Também observa-se que este tratamento acabou

por reduzir o tempo de hidratação do cimento quando comparado com o compósito feito com o bambu *in natura*.

O aditivo acelerador de pega à base de cloreto de cálcio foi o tratamento que aumentou significativamente a compatibilidade do compósito, havendo um acréscimo de 83%, em comparação ao compósito com bambu *in natura*. Isso ocorreu pelo fato de que o aditivo acelera a pega do cimento, não permitindo que o bambu afete o processo de hidratação deste. Este funciona como um catalisador nas reações de hidratação do cimento, acelerando o processo de hidratação deste. Considerando o tratamento realizado com silicato de sódio, este funciona como um agente bloqueador, criando uma barreira sobre a biomassa.

Com relação aos tratamentos com água quente e fria, pôde-se verificar, que para o bambu mossô, os dois tratamentos ajudam a aumentar a compatibilidade, em 63% e 48% respectivamente, sendo que o tratamento com água quente foi superior ao tratamento com água fria. Para o tratamento com silano, este funciona como um agente ligante entre o cimento e a biomassa, auxiliando, assim, o calor de hidratação do cimento.

O tratamento realizado com silicato de sódio igualou o tempo de hidratação do cimento, quando comparado ao compósito com bambu *in natura*, já para a água fria e o silano estes elevaram o tempo em 10% e para a água quente este foi elevado em 7% quando comparados ao compósito com bambu *in natura*. Já o tratamento com cloreto de cálcio diminuiu em 42% o tempo de hidratação do cimento.

A Figura 17 apresenta as curvas de hidratação dos compósitos de bambu mossô com os diferentes pré-tratamentos realizados.

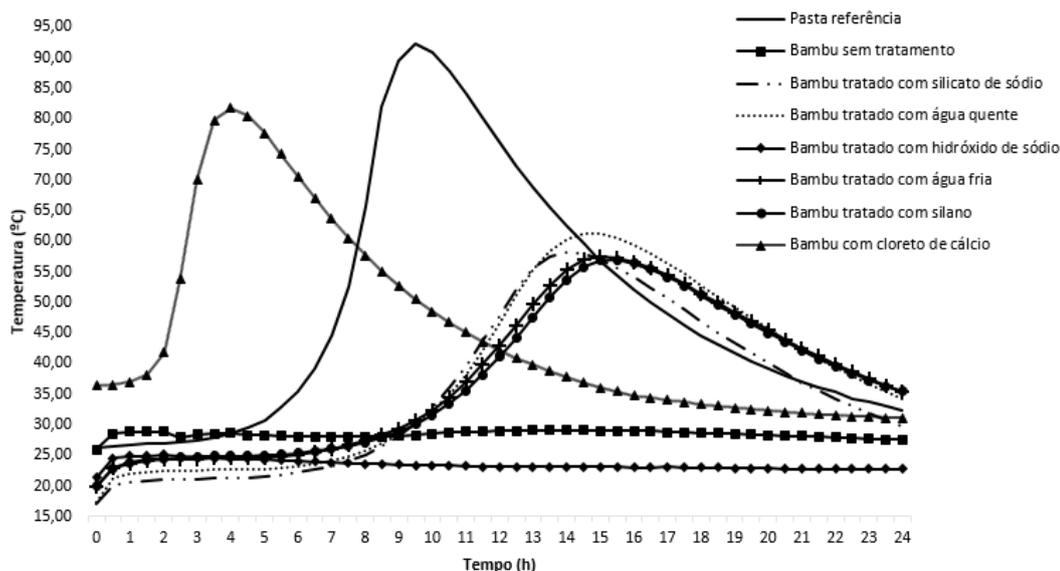


Figura 17 - Curvas de hidratação para os pré-tratamentos do bambu mossô e pasta de referência

Fonte: Autoria Própria (2016)

Através das curvas observa-se que a adição de cloreto de cálcio a mistura foi o tratamento que mais elevou a temperatura de hidratação do cimento, chegando próximo da temperatura de hidratação da pasta referência, os tratamentos realizados com água quente, água fria, silicato de sódio e silano conseguiram aumentar a temperatura de hidratação do cimento, porém os compósitos com o bambu *in natura* e tratado com hidróxido de sódio foram os que atingiram a menor temperatura de hidratação do cimento. Pôde-se afirmar que há diferenças significativas, por meio da ANOVA, para os pré-tratamentos realizados na biomassa de bambu no que se refere a temperatura de hidratação do cimento CPV-ARI, ao tempo mínimo e ao índice de inibição.

A Tabela 28 apresenta os valores médios de temperatura máxima, tempo mínimo e índice de inibição para os compósitos feitos com a biomassa de cana-de-açúcar.

Tabela 28 - Valores médios de temperatura, tempo, e índice de inibição para o compósito com biomassa de cana-de-açúcar

	Temperatura máxima (°C)	Classificação quanto à temperatura	Tempo mínimo (h)	I (%)	Classificação quanto ao índice de inibição
Pasta Padrão	92,33 ^A	-	9,5 ^A	-	-
Sem tratamento	22,40 ^C	Incompatível	2 ^E	60,06 ^C	Alta inibição
Hidróxido de sódio	24,93 ^C	Incompatível	1,5 ^F	61,68 ^B	Alta inibição
Silicato de sódio	20,13 ^C	Incompatível	2,5 ^D	57,10 ^D	Alta inibição
Água fria	25,53 ^C	Incompatível	4,5 ^C	36,38 ^F	Moderada inibição
Água quente	24,90 ^C	Incompatível	0,5 ^G	70,50 ^A	Alta inibição
Silano	25,13 ^C	Incompatível	2,5 ^D	53,99 ^E	Alta inibição
Sem tratamento + 4% de cloreto de cálcio	61,55 ^B	Compatível	6 ^B	15,62 ^G	Moderada inibição

*Valores médios de três repetições

**Médias seguidas pela mesma letra dentro da mesma coluna não se diferenciam estatisticamente, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: Autoria Própria (2016)

Através da Tabela 28, verificou-se que o tratamento com cloreto de cálcio aumentou o grau de compatibilidade entre a cana-de-açúcar e o cimento em 74%, seguido pelo tratamento realizado com água fria que aumentou em 61% a compatibilidade do sistema.

O tratamento com água fria acabou elevando a compatibilidade, pois este elimina componentes orgânicos, taninos, gomas, açúcares e material corante. Açúcares estes que acabam por influenciar na hidratação da matriz cimentícia, como exemplo, a sacarose. Além disso, temos os taninos, que afetam de forma negativa o processo de hidratação do cimento.

Os demais tratamentos realizados na cana-de-açúcar auxiliaram na compatibilidade desta com o cimento Portland. Porém, devido ao fato da cana-de-açúcar possuir um alto teor de açúcares em sua composição, e estes tratamentos não conseguirem eliminar estes açúcares, esta contribuição na compatibilidade não foi tão eficiente quanto à obtida com o cloreto de cálcio.

Pôde-se observar que todos os pré-tratamentos realizados acabaram por diminuir o tempo de hidratação do cimento e a temperatura máxima de hidratação deste.

A Figura 18 apresenta a curvas de hidratação da pasta referência e dos compósitos com cana-de-açúcar

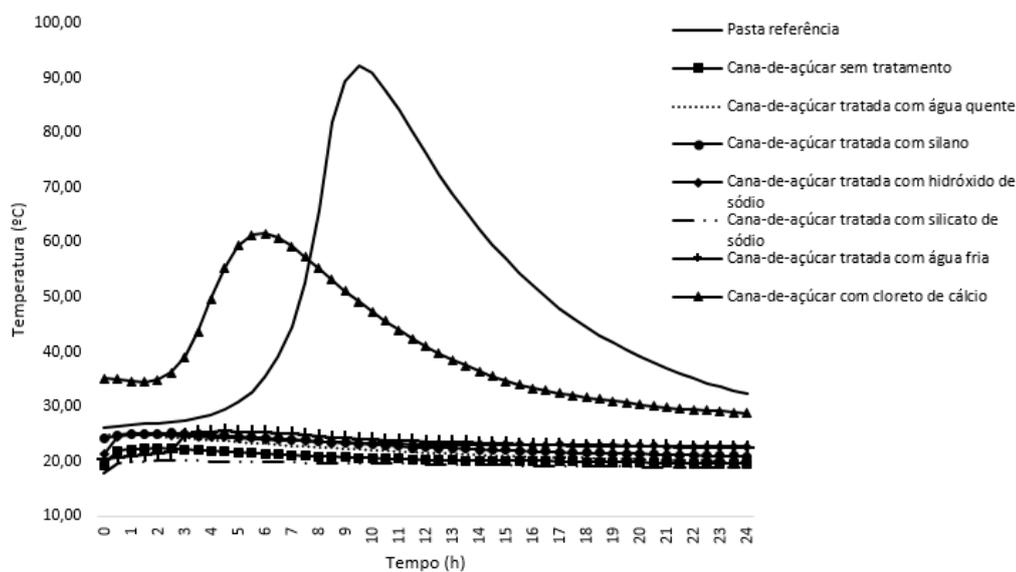


Figura 18 - Curvas de hidratação para os pré-tratamentos da cana-de-açúcar e pasta de referência
Fonte: Autoria Própria (2016)

Para melhor visualização das curvas de hidratação da cana-de-açúcar depois dos tratamentos, foi ampliado as curvas do gráfico, conforme Figura 19.

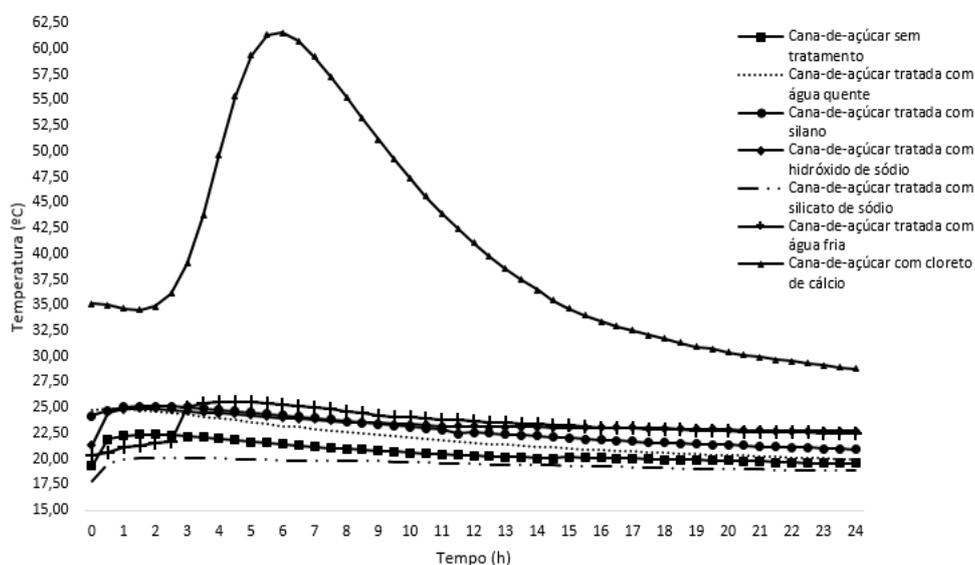


Figura 19 - Curvas de hidratação para os pré-tratamentos da cana-de-açúcar
Fonte: Autoria Própria (2016)

Através das Figuras 18 e 19 verificou-se que o tratamento com cloreto de cálcio foi o que mais se aproximou da temperatura de hidratação da pasta referência, os demais tratamentos realizados na cana-de-açúcar diminuíram esta. Isso deve-se ao fato de que a cana-de-açúcar possui um alto teor de sacarose em sua composição, inibindo de forma negativa a hidratação do cimento, e não permitindo o endurecimento deste.

A ANOVA foi realizada para comparar estatisticamente a influência dos pré-tratamentos na temperatura de hidratação do cimento, tempo mínimo e índice compatibilidade. Assim, pôde-se afirmar que há diferenças significativas entre os pré-tratamentos realizados na cana-de-açúcar.

4.2.3 Ensaio mecânicos

A Tabela 29 apresenta os resultados obtidos para os compósitos produzidos com a biomassa de bambu mossô, com os teores de 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega.

Tabela 29 - Resistência à compressão aos sete dias para os compósitos com biomassa de bambu mossô com os diferentes pré-tratamentos e com 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega (a:c=0,5)

(Continua)

Tratamento	Traço	Relação cimento:biomassa (kg)	Aditivo (%)	Resistência à compressão (MPa)	Coefficiente de Variação (%)
Sem tratamento	T9	13:1	0	11,65 ^B	27,69
	T10	13:1	3	18,49 ^A	16,13
	T11	13:1	6	21,88 ^A	3,16
	T12	13:1	9	18,91 ^A	13,92
Hidróxido de sódio	T13	13:1	0	13,50 ^B	12,61
	T14	13:1	3	21,34 ^{AB}	10,40
	T15	13:1	6	21,49 ^{AB}	43,37
	T16	13:1	9	28,61 ^A	2,28
Silicato de sódio	T17	13:1	0	17,13 ^A	6,13
	T18	13:1	3	19,78 ^A	20,46
	T19	13:1	6	17,22 ^A	24,33
	T20	13:1	9	19,68 ^A	21,22

Tabela 29 - Resistência à compressão aos sete dias para os compósitos com biomassa de bambu mossô com os diferentes pré-tratamentos e com 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega (a:c=0,5)

(Conclusão)

Tratamento	Traço	Relação cimento:biomassa (kg)	Aditivo (%)	Resistência à compressão (MPa)	Coefficiente de Variação (%)
Água fria	T21	13:1	0	19,49 ^A	2,47
	T22	13:1	3	24,34 ^A	16,12
	T23	13:1	6	23,62 ^A	10,26
	T24	13:1	9	22,92 ^A	4,27
Água quente	T25	13:1	0	16,28 ^A	16,71
	T26	13:1	3	21,70 ^A	11,16
	T27	13:1	6	20,05 ^A	15,10
	T28	13:1	9	19,84 ^A	21,94
Silano	T29	13:1	0	17,55 ^A	15,35
	T30	13:1	3	21,13 ^A	18,84
	T31	13:1	6	21,93 ^A	18,89
	T32	13:1	9	17,53 ^A	36,04

*Valores médios de quatro repetições

**Médias seguidas pela mesma letra dentro da mesma coluna, para o mesmo tratamento, não se diferenciam estatisticamente, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: Aatoria Própria (2016)

Para analisar a eficiência do uso do aditivo acelerador de pega para os diferentes tipos de pré-tratamentos, realizou-se a ANOVA. Para os compósitos feitos a partir do bambu *in natura*, e bambu tratado com hidróxido de sódio observa-se que há diferenças significativas entre as variâncias, conforme variou-se o teor de aditivo acelerador de pega. Já para os compósitos feitos com bambu tratado com silicato de sódio, água fria, água quente e silano não há diferenças significativas conforme elevou-se o teor de aditivo acelerador de pega. A Figura 20 apresenta a variação da resistência à compressão para os diferentes pré-tratamentos da biomassa de bambu mossô, bem como para os quatro teores de aditivo acelerador de pega.

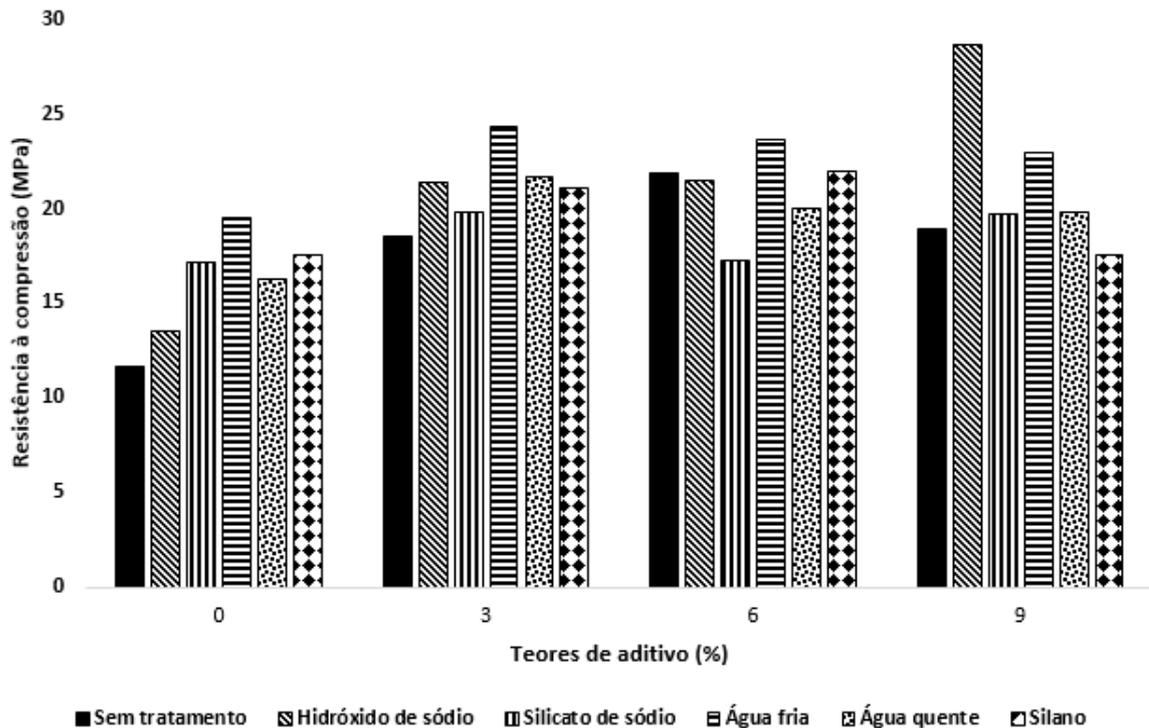


Figura 20 - Resistência à compressão aos sete dias para os compósitos com biomassa de bambu mossô com os diferentes pré-tratamentos e com 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega

Fonte: Autoria Própria (2016)

Observa-se que todos os pré-tratamentos elevaram a resistência à compressão dos compósitos, quando comparados ao traço com bambu sem tratamento e sem aditivo. Para os compósitos sem aditivo, o pré-tratamento com água fria elevou a resistência à compressão em 67%, quando comparado com o compósito feito com bambu *in natura*.

Para os compósitos com teor de 3% de aditivo acelerador de pega, observa-se também que o pré-tratamento que apresentou maior resistência à compressão, quando comparado com o compósito com bambu *in natura*, foi o realizado com água fria, elevando esta em 31%.

Para os compósitos com 6% de aditivo, verifica-se, novamente que o tratamento efetuado com água fria foi o que mais elevou a resistência à compressão, havendo um acréscimo de 8% em relação ao compósito com bambu sem tratamento. Para o tratamento com silicato de sódio ocorreu uma redução de 21% da resistência à compressão dos compósitos quando comparados com bambu *in natura*. Para os compósitos com 9% de aditivo, pôde-se observar que o pré-tratamento que elevou a resistência à compressão em 51%, em relação ao

compósito de bambu *in natura*, foi o realizado com hidróxido de sódio, já o tratamento com silano reduziu em 7%.

Para os compósitos feitos somente com a cana-de-açúcar tratada e sem aditivo acelerador de pega, aos setes dias de idade, estes ainda se apresentavam moles, impossibilitando o seu ensaio quanto a resistência à compressão. Isso deve-se ao fato de que os pré-tratamentos realizados na biomassa de cana-de-açúcar não removem quantidades significativas de açúcares residuais da biomassa de cana-de-açúcar, que acaba por influenciar de forma negativa na hidratação do cimento Portland e, conseqüentemente, na resistência à compressão dos compósitos.

A Tabela 30 apresenta os valores médios de resistência à compressão para os compósitos com biomassa de cana-de-açúcar com 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega.

Tabela 30 - Resistência à compressão aos sete dias para os compósitos com biomassa de cana-de-açúcar com os diferentes pré-tratamentos e com 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega (a:c = 0,6)

(Continua)

Tratamento	Traço	Relação cimento:biomassa (kg)	Aditivo (%)	Resistência à compressão (MPa)	Coefficiente de Variação (%)
Sem tratamento	T34	13:1	3	3,08 ^C	12,05
	T35	13:1	6	8,51 ^B	10,05
	T36	13:1	9	11,22 ^A	11,79
Hidróxido de sódio	T38	13:1	3	4,37 ^B	3,14
	T39	13:1	6	8,20 ^A	21,16
	T40	13:1	9	9,09 ^A	14,68
Silicato de sódio	T42	13:1	3	3,02 ^B	7,24
	T43	13:1	6	6,99 ^A	15,53
	T44	13:1	9	8,71 ^A	14,75
Água fria	T46	13:1	3	3,83 ^B	16,56
	T47	13:1	6	8,73 ^A	13,45
	T48	13:1	9	10,02 ^A	17,72
Água quente	T50	13:1	3	4,19 ^B	9,23
	T51	13:1	6	8,55 ^A	11,87
	T52	13:1	9	8,84 ^A	22,41

Tabela 30 - Resistência à compressão aos sete dias para os compósitos com biomassa de cana-de-açúcar com os diferentes pré-tratamentos e com 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega (a:c = 0,6)

(Conclusão)

Tratamento	Traço	Relação cimento:biomassa (kg)	Aditivo (%)	Resistência à compressão (MPa)	Coefficiente de Variação (%)
Silano	T54	13:1	3	4,90 ^B	17,34
	T55	13:1	6	8,92 ^A	9,44
	T56	13:1	9	8,38 ^A	14,97

*Valores médios de quatro repetições

**Médias seguidas pela mesma letra dentro da mesma coluna, para o mesmo tratamento, não se diferenciam estatisticamente, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: Autoria Própria (2016)

Buscando analisar a influência do aditivo acelerador de pega nos diferentes pré-tratamentos, realizou-se a ANOVA, para a biomassa de cana-de-açúcar *in natura*, tratada com hidróxido de sódio, silicato de sódio, água quente e silano verificou-se que há diferenças significativas conforme é variado o teor de aditivo acelerador de pega. Já no caso do pré-tratamento realizado com água fria, observou-se que há diferença significativa.

A Figura 21 apresenta a variação da resistência à compressão para os compósitos com biomassa de cana-de-açúcar.

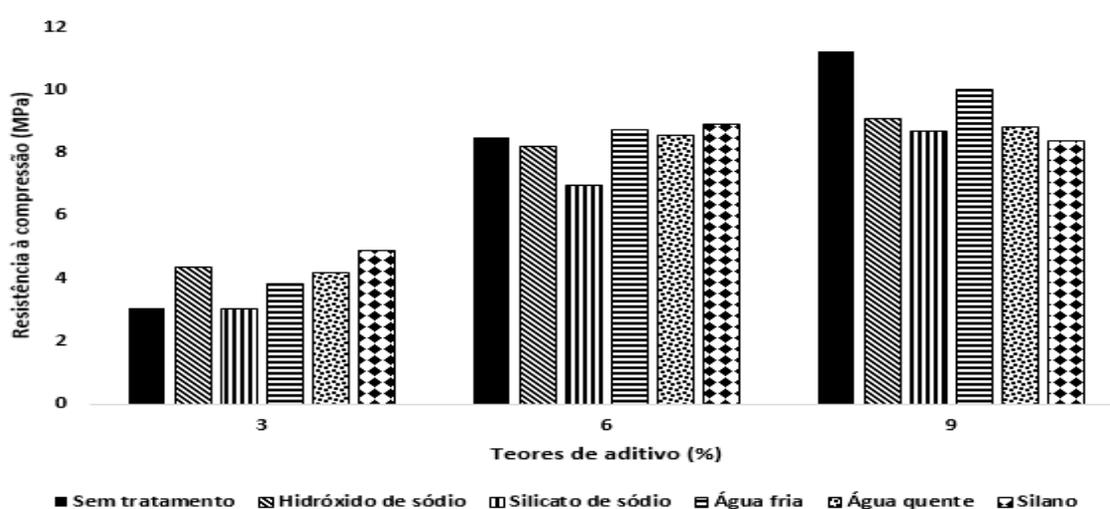


Figura 21 - Resistência à compressão aos sete dias para os compósitos com biomassa de cana-de-açúcar com os diferentes pré-tratamentos e com 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega

Fonte: Autoria Própria (2016)

Observa-se que os valores médios de resistência à compressão não ultrapassam 12 MPa, mesmo com os diferentes pré-tratamentos realizados e variando o teor de aditivo, o que demonstra que os pré-tratamentos não conseguem elevar a temperatura de hidratação do cimento e, conseqüentemente, afetam as características mecânicas dos compósitos.

Para os compósitos com 3% de aditivo ocorreu um aumento de 59% da resistência à compressão com o pré-tratamento realizado com silano, já para o pré-tratamento com silicato de sódio ocorreu uma redução de 2% quando comparados com o compósito com a biomassa de cana-de-açúcar sem tratamento.

Para os compósitos com 6% de aditivo, quando comparados com o compósito com cana-de-açúcar *in natura*, o pré-tratamento com silano aumentou a resistência à compressão em 4%, já o pré-tratamento com silicato de sódio diminuiu está em 17%.

Para o teor de aditivo de 9% o compósito com cana-de-açúcar sem tratamento foi o que apresentou resistência à compressão superior em comparação aos demais pré-tratamentos.

4.2.4 Ensaio físicos

Foram realizados ensaios físicos para os compósitos com a biomassa de bambu mossô com os diferentes pré-tratamentos, variando o teor de aditivo acelerador de pega, os valores são apresentados na Tabela 31.

Tabela 31 - Índices físicos aos sete dias para os compósitos com biomassa de bambu mossô com os diferentes pré-tratamentos e com 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega
(continua)

Traço	Abs. de água (%)	C.V.	Índice de vazios (%)	C.V.	ρ_s (g/cm ³)	C.V.	ρ_{SAT} (g/cm ³)	C.V.	ρ_R (g/cm ³)	C.V.
Sem tratamento										
T9	31,54 ^A	2,30	42,24 ^A	1,54	1,34 ^B	1,91	1,76 ^B	1,55	2,32 ^A	2,34
T10	25,20 ^B	8,02	36,83 ^B	5,18	1,47 ^A	3,02	1,83 ^A	1,50	2,32 ^A	1,17
T11	25,52 ^B	7,24	37,44 ^B	5,35	1,47 ^A	1,94	1,84 ^A	0,56	2,35 ^A	1,41
T12	27,84 ^B	3,65	39,07 ^{AB}	1,85	1,40 ^{AB}	1,87	1,79 ^{AB}	1,07	2,30 ^A	0,69

Tabela 31 - Índices físicos aos sete dias para os compósitos com biomassa de bambu mossô com os diferentes pré-tratamentos e com 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega
(Conclusão)

Traço	Abs. de água (%)	C.V.	Índice de vazios (%)	C.V.	ρ_s (g/cm ³)	C.V.	ρ_{SAT} (g/cm ³)	C.V.	ρ_R (g/cm ³)	C.V.
Hidróxido de sódio										
T13	27,53 ^B	2,58	37,52 ^B	1,86	1,36 ^A	0,99	1,74 ^A	0,63	2,18 ^A	0,95
T14	28,31 ^B	1,95	37,50 ^B	1,46	1,32 ^{AB}	0,60	1,70 ^{AB}	0,31	2,12 ^B	0,58
T15	28,51 ^{AB}	5,14	38,03 ^{AB}	3,01	1,34 ^{AB}	2,18	1,72 ^{AB}	1,05	2,15 ^{AB}	0,51
T16	30,89 ^A	3,39	39,74 ^A	1,69	1,29 ^B	2,19	1,68 ^B	1,50	2,14 ^{AB}	1,84
Silicato de sódio										
T17	26,15 ^{AB}	3,32	35,57 ^A	1,80	1,36 ^{AB}	1,52	1,72 ^{AB}	0,84	2,11 ^A	0,56
T18	25,92 ^{AB}	3,19	35,13 ^A	1,43	1,36 ^{AB}	1,92	1,71 ^{AB}	1,28	2,09 ^{AB}	1,31
T19	26,88 ^A	1,13	35,46 ^A	0,90	1,32 ^B	0,72	1,67 ^B	0,61	2,04 ^B	0,90
T20	24,90 ^B	3,44	34,40 ^A	1,63	1,38 ^A	2,23	1,73 ^A	1,59	2,11 ^A	1,78
Água fria										
T21	28,59 ^A	9,09	37,24 ^B	5,45	1,31 ^A	4,10	1,68 ^A	2,00	2,08 ^A	0,96
T22	29,00 ^A	3,62	37,92 ^B	0,90	1,31 ^A	3,04	1,69 ^A	2,22	2,11 ^A	2,67
T23	28,72 ^A	6,02	38,52 ^{AB}	2,96	1,34 ^A	2,97	1,73 ^A	1,68	2,18 ^A	1,27
T24	32,71 ^A	4,75	41,27 ^A	3,19	1,26 ^A	3,27	1,68 ^A	2,55	2,15 ^A	3,83
Água quente										
T25	28,28 ^A	11,61	37,02 ^A	10,59	1,31 ^A	3,03	1,68 ^A	2,97	2,09 ^A	6,12
T26	27,28 ^A	24,36	35,41 ^A	19,20	1,32 ^A	6,10	1,67 ^A	1,86	2,05 ^A	4,88
T27	28,14 ^A	5,03	37,19 ^A	4,12	1,32 ^A	1,59	1,69 ^A	1,18	2,11 ^A	2,25
T28	28,48 ^A	8,56	37,53 ^A	6,48	1,32 ^A	3,11	1,70 ^A	2,01	2,12 ^A	3,45
Silano										
T29	27,50 ^{AB}	4,20	35,88 ^{AB}	3,17	1,31 ^A	1,41	1,66 ^A	0,88	2,04 ^A	1,44
T30	26,27 ^B	4,15	34,42 ^B	2,49	1,31 ^A	1,81	1,66 ^A	1,04	2,00 ^A	1,01
T31	30,27 ^{AB}	8,39	39,00 ^{AB}	6,47	1,29 ^A	2,74	1,68 ^A	1,68	2,12 ^A	3,42
T32	33,65 ^A	14,97	42,15 ^A	11,51	1,26 ^A	4,08	1,68 ^A	2,00	2,19 ^A	6,43

Onde: Abs. de água: Absorção de água / C.V.: Coeficiente de variação / ρ_s : Massa específica amostra seca / ρ_{SAT} : Massa específica amostra saturada / ρ_R : Massa específica real

*Valores médios de quatro repetições

**Médias seguidas pela mesma letra dentro da mesma coluna, para o mesmo pré-tratamento, não se diferenciam estatisticamente, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: Autoria Própria (2016)

A ANOVA demonstrou que para o bambu sem tratamento variando o teor de aditivo, há diferenças significativas para todos os índices físicos, com exceção da massa específica real. Para a ANOVA há diferenças significativas para todos os índices físicos dos compósitos feitos com bambu mossô tratado com hidróxido de sódio. Já para os compósitos com bambu tratado com silicato de sódio, ANOVA demonstrou que não há diferença significativa para o índice de vazios, para os demais índices físicos há diferenças significativas entre as variâncias.

Nos compósitos feitos com bambu mossô tratado com água fria, segundo a ANOVA há diferença significativa entre as variâncias para o índice de vazios, já para os compósitos tratados com água quente, verificou-se que não há diferença significativa entre as variâncias. Para os compósitos com bambu tratado com silano, a absorção de água e o índice de vazios apresentam diferenças significativas, segundo a ANOVA.

Para os compósitos com bambu *in natura*, observa-se que ocorre uma redução da absorção conforme acrescido o teor de aditivo. Já para os compósitos com bambu tratado com hidróxido de sódio, água fria e silano ocorre um aumento desta. Já para a biomassa tratada com silicato de sódio e água quente, pôde-se observar que não há variações significativas da absorção de água.

Para os compósitos com bambu sem tratamento observa-se que ocorre a redução do índice de vazios, já para os compósitos com bambu tratado com hidróxido de sódio, água fria e silano há um aumento do índice de vazios, para os tratamentos com silicato de sódio e água quente não há variações para este índice.

A Figura 22 apresenta a relação entre a absorção de água dos compósitos e o índice de vazios destes.

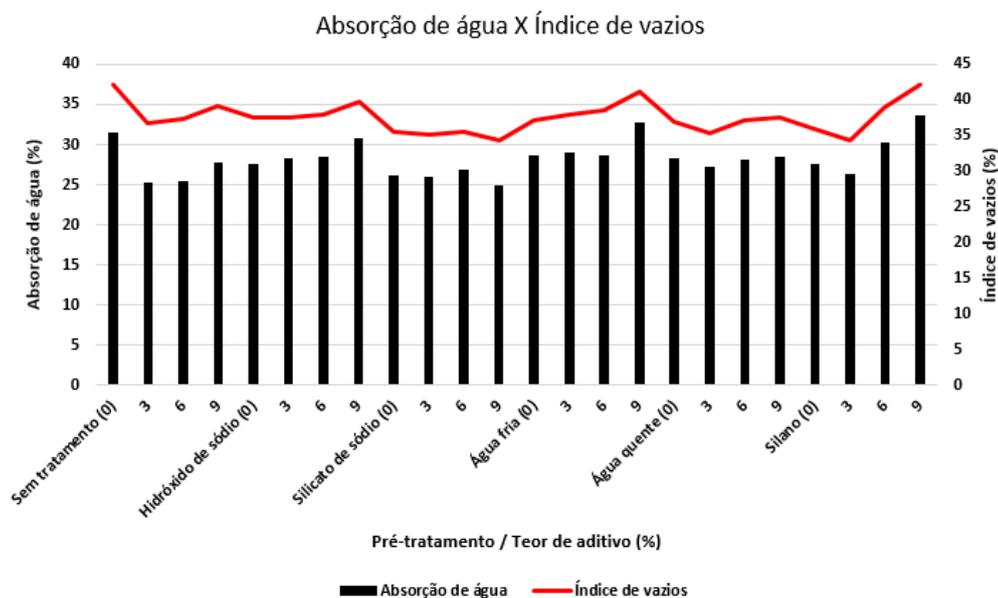


Figura 22 - Relação entre a absorção de água e o índice de vazios dos compósitos com biomassa de bambu mossô
Fonte: Autoria Própria (2016)

Por meio da Figura 22 é possível verificar a relação entre a porosidade dos corpos-de-prova e sua absorção de água.

Observa-se que para os compósitos com bambu sem tratamento e tratado com água fria ocorreu um acréscimo e logo depois uma redução da massa específica amostra seca, saturada e real, conforme acrescido o teor de aditivo. Para os compósitos com biomassa tratada com hidróxido de sódio, há uma redução da massa específica amostra seca e saturada, para a massa específica real há uma variação desta, conforme o teor de aditivo.

A massa específica amostra seca, saturada e real, para a biomassa tratada com silicato de sódio, conforme variado o teor de aditivo, ocorreu uma variação destas. Para a biomassa tratada com água quente, a massa específica amostra seca e saturada não ocorre variações destas, já para a massa específica real ocorre uma alteração desta, conforme variado o teor de aditivo. Já para a biomassa tratada com silano ocorre um aumento das massas específicas.

Devido ao fato de que a cana-de-açúcar não permite a pega do cimento, os índices físicos para os compósitos sem adição de aditivo acelerador de pega não foram realizados. Os índices físicos para os compósitos de cana-de-açúcar são apresentados na Tabela 32.

Tabela 32 - Índices físicos para os compósitos com biomassa de cana-de-açúcar com os diferentes pré-tratamentos e com 0, 3, 6 e 9% de aditivo aos sete dias

Traço	Abs. de água (%)	C.V.	Índice de vazios (%)	C.V.	ρ_s (g/cm ³)	C.V.	ρ_{SAT} (g/cm ³)	C.V.	ρ_R (g/cm ³)	C.V.
Sem tratamento										
T34	30,23 ^A	7,72	36,78 ^A	6,39	1,22 ^A	2,60	1,59 ^A	1,92	1,93 ^A	3,56
T35	26,36 ^A	9,43	32,66 ^A	7,85	1,24 ^A	1,73	1,57 ^A	0,47	1,84 ^A	2,10
T36	26,04 ^A	1,78	32,92 ^A	2,11	1,26 ^A	0,38	1,59 ^A	0,72	1,88 ^A	1,39
Hidróxido de sódio										
T38	30,75 ^A	8,75	36,23 ^A	7,97	1,18 ^C	0,76	1,54 ^A	1,36	1,85 ^A	4,00
T39	24,18 ^B	11,89	29,60 ^B	11,33	1,23 ^A	0,64	1,52 ^A	1,78	1,74 ^A	4,11
T40	27,27 ^{AB}	3,53	32,88 ^{AB}	3,20	1,21 ^B	0,50	1,54 ^A	0,55	1,80 ^A	1,34
Silicato de sódio										
T42	21,83 ^A	9,88	27,75 ^A	9,59	1,27 ^A	0,76	1,55 ^A	1,61	1,76 ^A	3,57
T43	21,90 ^A	9,99	28,18 ^A	7,92	1,29 ^A	2,03	1,57 ^A	0,68	1,80 ^A	1,48
T44	22,37 ^A	6,25	28,98 ^A	5,08	1,30 ^A	2,42	1,59 ^A	1,94	1,83 ^A	2,70
Água fria										
T46	23,00 ^A	6,98	29,09 ^A	5,60	1,27 ^B	2,17	1,56 ^A	1,46	1,79 ^A	2,09
T47	18,93 ^A	9,66	25,03 ^A	10,26	1,32 ^{AB}	1,64	1,57 ^A	2,60	1,77 ^A	4,34
T48	19,75 ^A	19,05	26,19 ^A	18,10	1,33 ^A	2,04	1,59 ^A	2,63	1,81 ^A	5,36
Água quente										
T50	24,07 ^A	6,36	30,69 ^A	4,74	1,28 ^A	1,63	1,58 ^A	0,48	1,84 ^A	0,66
T51	23,42 ^A	4,64	29,96 ^A	5,09	1,28 ^A	0,96	1,58 ^A	1,52	1,83 ^A	2,81
T52	23,68 ^A	15,89	30,46 ^A	11,72	1,30 ^A	5,57	1,60 ^A	2,75	1,87 ^A	2,72
Silano										
T54	22,23 ^A	10,43	28,32 ^A	8,89	1,28 ^A	1,56	1,56 ^A	0,37	1,78 ^A	1,98
T55	23,80 ^A	4,74	30,19 ^A	3,76	1,27 ^A	1,31	1,57 ^A	0,77	1,82 ^A	1,18
T56	26,70 ^A	10,77	32,23 ^A	9,88	1,21 ^B	1,86	1,53 ^A	2,00	1,79 ^A	4,30

Onde: Abs. de água: Absorção de água / C.V.: Coeficiente de variação / ρ_s : Massa específica amostra seca / ρ_{SAT} : Massa específica amostra saturada / ρ_R : Massa específica real

*Valores médios de quatro repetições

**Médias seguidas pela mesma letra dentro da mesma coluna, para o mesmo pré-tratamento, não se diferenciam estatisticamente, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: Autorial Própria (2016)

Verificou-se, por meio da ANOVA que não há diferenças significativas para as variâncias dos índices físicos dos compósitos com cana-de-açúcar sem tratamento, tratada com silicato de sódio e tratada com água quente. Já para os compósitos com a cana-de-açúcar tratada com hidróxido de sódio, verificou se que há diferenças significativas para a absorção de água, índice de vazios e a massa específica amostra seca. Para a biomassa tratada com água fria, possibilitou verificar que a massa específica amostra seca apresenta diferença significativa. Ainda, verifica-se que apenas a massa específica amostra seca apresentou diferença significativa para os compósitos com a biomassa tratada com silano.

Observa-se que para os compósitos com biomassa de cana-de-açúcar *in natura* e com biomassa tratada com água fria ocorre uma redução da absorção de água, já para os compósitos com biomassa de cana-de-açúcar tratada com silicato de sódio e água quente não há variações significativas. Para a biomassa tratada com silano ocorre um aumento da absorção de água.

A Figura 23 apresenta a relação entre a absorção de água e o índice de vazios para os compósitos com biomassa de cana-de-açúcar.

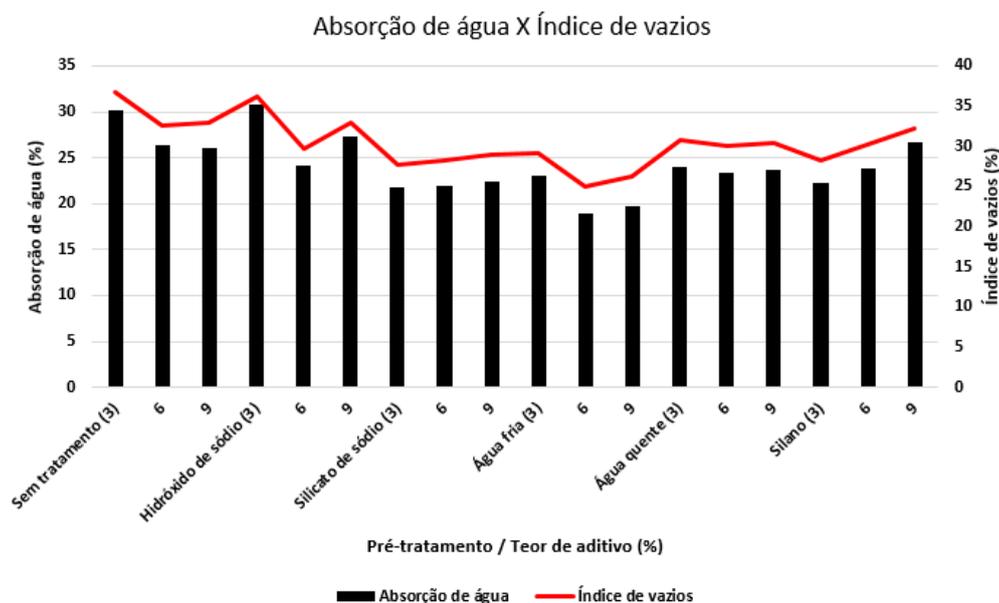


Figura 23 - Relação entre a absorção de água e o índice de vazios dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar
 Fonte: Autoria Própria (2016)

Observa-se uma relação direta entre a absorção de água dos corpos-de-prova e o índice de vazios destes, assim, quanto maior a porosidade do corpo-de-

prova maior será sua absorção. Observa-se que para a massa específica amostra seca ocorre um acréscimo desta para os compósitos com biomassa de cana-de-açúcar sem tratamento, tratado com silicato de sódio, água fria e água quente, conforme acrescido o teor de aditivo. Já para a massa específica amostra saturada há um aumento desta para os compósitos com biomassa de cana-de-açúcar tratada com silicato de sódio, água fria e água quente. Para os compósitos tratados com silicato de sódio ocorre um acréscimo da massa específica real.

4.2.5 Definição do traço

Buscando analisar qual compósito dentre os diferentes pré-tratamentos, e sem adição de aditivo acelerador de pega, definiu-se:

- Para a biomassa de bambu mossô o pré-tratamento que elevou a resistência à compressão foi o realizado com água fria, e;
- Para a biomassa de cana-de-açúcar somente tratada e sem aditivo não houve o endurecimento do compósito, ou seja, estes não influenciaram na compatibilidade entre a biomassa de cana-de-açúcar e o cimento.

Assim, para a próxima fase da pesquisa, optou-se por trabalhar somente com o bambu mossô tratado com água fria.

4.3 FASE 3: ESTUDO DA ADIÇÃO DE ESCÓRIA DE ALTO-FORNO À CARVÃO VEGETAL

São apresentados os resultados da interação entre o cimento, a biomassa de bambu mossô e a escória de alto-forno à carvão vegetal, bem como os resultados dos ensaios mecânicos dos corpos-de-prova.

4.3.1 Ensaio de inibição

A Tabela 33 apresenta os valores de temperatura máxima, tempo mínimo, índice de inibição e classificação quanto à temperatura e ao índice de inibição para os compósitos de bambu mossô tratado com água fria com a adição de escória de alto-forno à carvão vegetal.

Tabela 33 - Valores médios de temperatura, tempo e índice de inibição para o compósito com biomassa de bambu mossô tratada com água fria e escória de alto-forno à carvão vegetal

	Temperatura máxima (°C)	Classificação quanto à temperatura	Tempo mínimo (h)	I (%)	Classificação quanto ao índice de inibição
Pasta Padrão	92,33 ^A	-	9,5 ^H	-	-
Bambu - Água fria	57,33 ^B	Intermediariamente compatível	15,5 ^C	16,42 ^C	Moderada inibição
Bambu + 5% de escória	53,53 ^B	Intermediariamente compatível	16 ^B	21,91 ^B	Moderada inibição
Bambu + 10% de escória	56,77 ^B	Intermediariamente compatível	15 ^D	15,32 ^D	Moderada inibição
Bambu + 15% de escória	60,93 ^B	Compatível	13 ^E	6,76 ^G	Baixa inibição
Bambu + 25% de escória	60,40 ^B	Compatível	13,5 ^E	7,99 ^F	Baixa inibição
Bambu + 30% de escória	54,73 ^B	Intermediariamente compatível	17 ^A	27,44 ^A	Moderada inibição
Bambu + 40% de escória	61,07 ^B	Compatível	13 ^F	6,13 ^H	Baixa inibição
Bambu + 50% de escória	62,40 ^B	Compatível	12,5 ^G	4,91 ^J	Baixa inibição
Bambu + 60% de escória	53,45 ^B	Intermediariamente compatível	13,5 ^E	11,53 ^E	Moderada inibição
Bambu + 70% de escória	59,55 ^B	Intermediariamente compatível	12,5 ^G	6,09 ^I	Baixa inibição

*Valores médios de três repetições

**Médias seguidas pela mesma letra dentro da mesma coluna não se diferenciam estatisticamente, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: Autoria Própria (2016)

Com base nos índices de compatibilidade, verifica-se que a escória de alto-forno não interfere de forma negativa na hidratação do cimento, como exemplo, a adição de 50% de escória ao compósito que acabou por influenciar positivamente o índice de compatibilidade, alterando este de moderada inibição, para o compósito feito somente com bambu tratado com água fria, para baixa inibição, quando é adicionado 50% de escória ao compósito.

Ainda levando em consideração estes dois compósitos, no que se refere a temperatura máxima de hidratação, pôde-se verificar que há um aumento nesta de 8,00%. No que se refere ao tempo mínimo, verifica-se que ocorre uma redução de 19% para atingir a máxima temperatura de hidratação do cimento, sendo este comportamento também observado para os compósitos com 10% e 25% de escória.

Porém, há composições em que a adição de escória acabou por influenciar negativamente no índice de compatibilidade e na temperatura de hidratação do cimento, como exemplo, os compósitos com adição de 5% e 30% de escória, também pôde-se atentar para o fato de que nestes dois compósitos há um aumento de 3,00% e 9,00%, respectivamente, no tempo mínimo para atingir a máxima temperatura de hidratação do cimento.

A Figura 24 apresenta as curvas de hidratação para os compósitos com adição de escória de alto-forno.

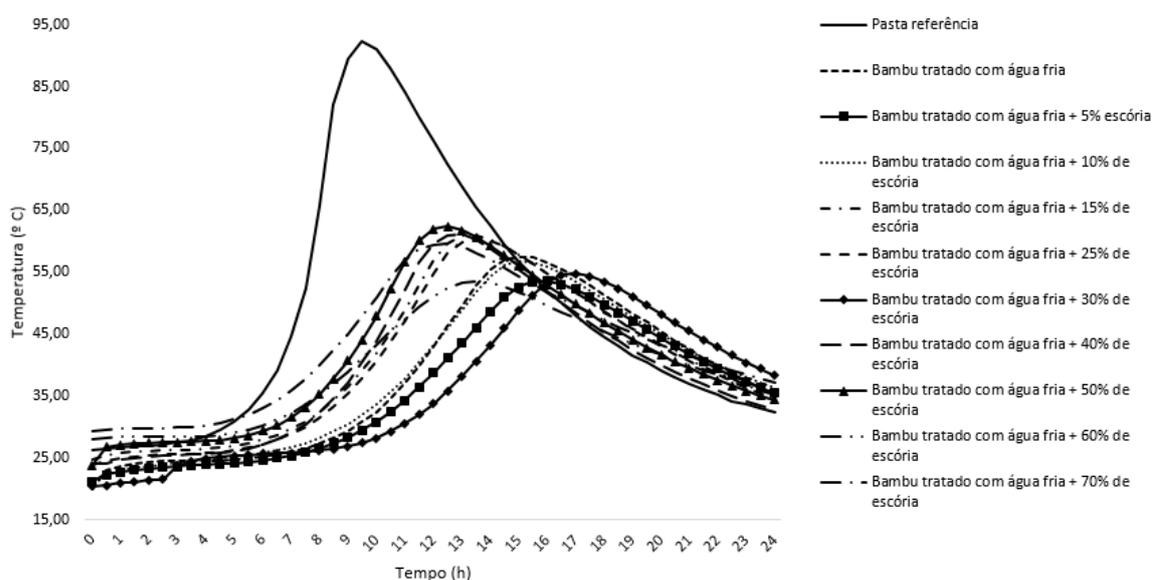


Figura 24 - Curvas de hidratação da pasta, e do compósito a base de biomassa bambu mossô tratada com água fria e adição de escória de alto-forno à carvão vegetal
Fonte: Autoria Própria (2016)

Com base na figura acima, observa-se que quando comparados com a pasta referência, nenhum compósito consegue atingir a temperatura máxima de hidratação do cimento CPV-ARI, ficando todos abaixo desta. Também verifica-se que os compósitos demoram mais tempo para atingir a máxima temperatura de hidratação do cimento, demonstrando assim, a influência do bambu mossô e da escória de alto-forno na hidratação deste.

Através da ANOVA, pôde-se afirmar que há diferenças significativas para as variâncias da temperatura de hidratação dos compósitos, tempo mínimo e índice de inibição para os compósitos.

4.3.2 Ensaio mecânico

A Tabela 34 e a Figura 25 apresentam os valores médios obtidos para a resistência à compressão dos corpos-de-prova moldados com biomassa de bambu mossô tratada com água fria e com substituição do cimento Portland pela escória de alto-forno, para estes a relação água:cimento foi de 0,5.

Tabela 34 - Resistência à compressão dos compósitos feitos com bambu mossô tratado com água fria e escória de alto-forno (a:c = 0,5) aos quatorze dias

Traço	Relação cimento:biomassa (kg)	Teor de escória (%)	R.C. (MPa)	C.V (%)
T57	13:1	5	9,83 ^C	17,60
T58	13:1	10	13,64 ^{BC}	12,58
T59	13:1	15	13,67 ^{BC}	13,14
T60	13:1	25	15,62 ^B	14,37
T61	13:1	30	14,28 ^B	10,77
T62	13:1	40	17,61 ^B	5,20
T63	13:1	50	15,81 ^B	7,70
T64	13:1	60	16,21 ^B	10,05
T65	13:1	70	16,97 ^B	18,08
Pasta referência	-	-	23,28 ^A	18,31

Onde: R.C.: Resistência à compressão/ C.V.: Coeficiente de variação

*Valores médios de seis repetições

**Médias seguidas pela mesma letra dentro da mesma coluna não se diferenciam estatisticamente, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: Autoria Própria (2016)

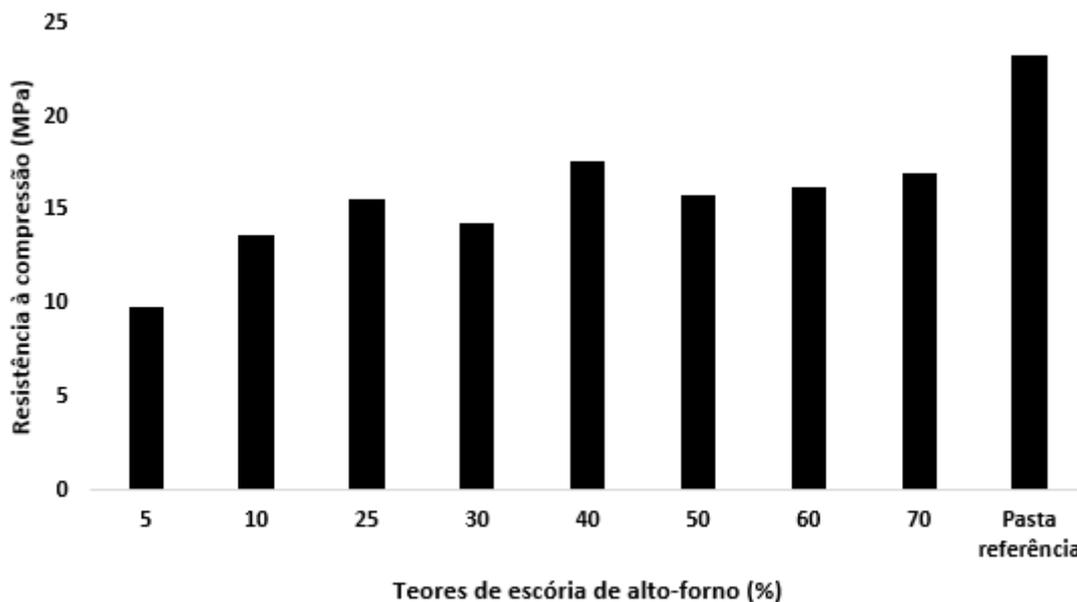


Figura 25 - Resistência à compressão dos compósitos feitos com escória de alto-forno
 Fonte: Autoria Própria (2016)

Através da Tabela 34 observa-se que mesmo com o aumento do teor de escória de alto-forno na composição não afetou a resistência à compressão dos compósitos, sendo que estes foram elevando sua resistência conforme incorporou-se escória a mistura. Assim, pôde-se afirmar que não há diferença significativa para as variâncias da resistência à compressão dos compósitos dos traços T58 a T65, levando -se em consideração ANOVA.

Este aumento da resistência à compressão dos compósitos com substituição do cimento Portland pela escória de alto-forno, ocorre devido ao fato de que a escória apresenta um alto teor de sílica em sua composição, esta quando em contato com a matriz cimentícia reage com o hidróxido de cálcio presente na pasta, formando uma quantidade extra de silicato de cálcio hidratado, sendo este o principal responsável pelo aumento da resistência à compressão da matriz cimentícia.

Com base no índice de inibição e nos ensaios mecânicos (resistência à compressão) adotou-se um percentual de 40% de escória de alto-forno à carvão vegetal para a moldagem dos painéis.

4.4 FASE 4: PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DOS PAINÉIS DE CIMENTO PORTLAND REFORÇADOS COM BIOMASSA VEGETAL E ADIÇÃO DE ESCÓRIA DE ALTO-FORNO

Nesta seção são apresentados os resultados das propriedades físicas e mecânicas dos painéis de cimento-biomassa vegetal.

4.4.1 Densidade

Na Tabela 35 é apresentado os valores de densidade para os painéis de cimento-biomassa vegetal e cimento-biomassa vegetal-escória de alto-forno feitos com 4% de cloreto de cálcio.

Tabela 35 - Densidade dos painéis

Traço	Bambu mossô (%)	Substituição do cimento pela Escória (%)	Densidade (kg/m ³)	C.V. (%)
P1	25	-	1570,7 ^C	1,74
P2	30	-	1577,9 ^C	0,83
P3	35	-	1521,4 ^{CD}	1,48
P4	40	-	1606,7 ^C	1,80
P5	45	-	1402,0 ^E	2,03
P6	25	40	1847,2 ^A	0,38
P7	30	40	1701,4 ^B	0,55
P8	35	40	1698,2 ^B	1,61
P9	40	40	1699,7 ^B	1,64
P10	45	40	1474,2 ^{DE}	4,92

*Médias seguidas pela mesma letra dentro da mesma coluna não se diferenciam estatisticamente, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: Autoria Própria (2016)

Observa-se que os painéis que apresentam escória de alto-forno apresentam densidade superior aos painéis que contém somente cimento e biomassa vegetal em sua composição. Isso ocorre devido a alguns fatores, primeiro a escória apresenta um elevado teor de sílica em sua composição, quando a sílica entra em contato com a pasta da matriz cimentícia, esta reage com o hidróxido de cálcio e forma uma quantidade extra de silicato de cálcio

hidratado (C-S-H), este acaba por diminuir a porosidade da matriz e consequentemente aumentar a densidade dos painéis.

Outro fator que pode ter influenciado na densidade dos painéis, é o alto teor da biomassa vegetal, pois no momento em que o silicato tricálcico (C_3S) e silicato dicálcico (C_2S) reagem com a água estes formam cristais que preenchem a pasta tornando-a impermeável, assim, essa biomassa pode ficar entre estes cristais, não permitindo o fechamento completo da pasta, tornando-a mais porosa e consequentemente, menos densa.

Além disso, a biomassa apresentava um pH alcalino (9,3), estes extrativos alcalinos tendem a reagir com os íons de cálcio, formando complexos permanentes com estes, impedindo que os núcleos atinjam o tamanho crítico necessário para a cristalinização da pasta, formando poros, diminuindo a densidade dos painéis.

Outro fator que se deve atentar é a dificuldade de homogeneização dos painéis conforme era aumentado o teor de biomassa, auxiliando assim, na formação de mais poros nos compósitos, e consequentemente, diminuição da densidade.

A ANOVA demonstrou que há diferenças significativas para a densidade dos painéis. Verifica-se que o painel com menor densidade é o que apresenta 45% de bambu e cimento, sem escória de alto-forno. Isso ocorre devido ao alto percentual de bambu no compósito, tornando-o menos denso. Já o painel com maior densidade é o que apresente 25% de bambu, 40% de escória de alto-forno e cimento. Isso ocorre devido a escória diminuir a porosidade do painel, tornando o painel mais denso.

Com relação as especificações, a ISO 8355 (1987) e EN 1058 (2009) estabelecem densidade acima de 1000 kg/m^3 ($1,00 \text{ g/cm}^3$), verifica-se assim, que todos os painéis atendem ao mínimo estabelecido por estas. Já norma comercial BISON (1978), estabelece uma densidade mínima de 1250 kg/m^3 , o que também é atendido por todos os painéis.

4.4.2 Inchamento em espessura

Os valores médios de inchamento em espessura em 24 horas para os painéis de cimento-biomassa vegetal e cimento-biomassa vegetal-escória de alto-forno, com 4% de cloreto de cálcio, são apresentados na Tabela 36.

Tabela 36 - Inchamento em espessura em 24 horas para os painéis

Traço	Bambu mossô (%)	Substituição do cimento pela escória (%)	Inchamento em espessura (%)	C.V. (%)
P1	25	-	0,3 ^D	12,88
P2	30	-	0,4 ^D	14,99
P3	35	-	0,6 ^{CD}	26,34
P4	40	-	0,9 ^{CD}	41,40
P5	45	-	1,3 ^{BC}	17,62
P6	25	40	3,2 ^A	10,36
P7	30	40	1,9 ^B	11,90
P8	35	40	1,0 ^{CD}	24,38
P9	40	40	1,2 ^C	15,04
P10	45	40	1,2 ^C	30,72

*Médias seguidas pela mesma letra dentro da mesma coluna não se diferenciam estatisticamente, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: Autoria Própria (2016)

Nota-se que os painéis que apresentam escória de alto-forno e bambu mossô em sua composição apresentam valores superiores de inchamento em espessura quando comparados aos painéis que possuem somente bambu mossô.

Para os painéis sem escória de alto-forno, o alto teor da biomassa vegetal pode ter influenciado o inchamento em espessura dos painéis, pois no momento em que o silicato tricálcico (C_3S) e silicato dicálcico (C_2S) reagem com a água estes formam cristais que preenchem a pasta tornando-a impermeável, assim, essa biomassa pode ter ficado entre estes cristais, não permitindo o fechamento completo da pasta, tornando-a mais porosa e conseqüentemente, aumentando o inchamento em espessura dos painéis.

Além disso, a biomassa apresentava um pH alcalino (9,3), estes extrativos alcalinos tendem a reagir com os íons de cálcio, presente no cimento e na escória de alto-forno, formando complexos permanentes com estes, impedindo que os

núcleos atinjam o tamanho crítico necessário para a cristalinização da pasta, formando poros, aumentando o inchamento em espessura dos painéis.

Outro fator é a dificuldade de homogeneização dos painéis conforme era aumentado o teor de biomassa, auxiliando assim, na formação de mais poros nos compósitos, e conseqüentemente, aumentando o inchamento em espessura dos painéis.

Deve-se atentar também para o fato de que a celulose presente na biomassa é higroscópica, ou seja, ela consegue fazer ligações com a água através de seus grupos de hidroxila. Quando a fibra celulósica absorve água, ocorre um aumento do seu diâmetro, influenciando assim no inchamento em espessura dos painéis.

Com relação as especificações de norma, a ISO 8355 (1987) prevê inchamento máximo de 2,00%, a EN 1058 (2009) e a norma comercial BISON (1978) preveem inchamento máximo de 1,50%. Verifica-se assim, que todos os painéis que apresentam somente biomassa vegetal e cimento atendem ao máximo estabelecido por estas. O que não é verificado em todos os painéis que apresentam escória de alto-forno.

Para a ANOVA, pôde-se afirmar que há diferenças significativas para as variâncias de inchamento em espessura dos painéis. E em relação as diferenças significativas entre as médias, verifica-se que o painel P6 (25% de biomassa de bambu mossô e 40% de escória) apresenta maior média em relação ao inchamento em espessura, e que os painéis P1 e P2 apresentam as menores médias, e não apresentam diferenças significativas entre si.

4.4.3 Resistência à compressão

Os valores médios para a resistência à compressão dos painéis de cimento-biomassa vegetal e cimento-biomassa vegetal-escória de alto-forno, com 4% de cloreto de cálcio, são apresentados na Tabela 37.

Tabela 37 - Resistência à compressão dos painéis

Traço	Bambu mossô (%)	Substituição do cimento pela escória (%)	Resistência à compressão (MPa)	C.V. (%)
P1	25	-	20,1 ^{ABC}	28,90
P2	30	-	23,3 ^{AB}	4,84
P3	35	-	18,6 ^{ABC}	21,20
P4	40	-	27,8 ^A	11,61
P5	45	-	11,6 ^C	24,16
P6	25	40	27,9 ^A	8,61
P7	30	40	28,5 ^A	20,44
P8	35	40	20,8 ^{ABC}	17,69
P9	40	40	22,8 ^{AB}	10,34
P10	45	40	13,3 ^{BC}	34,97

*Médias seguidas pela mesma letra dentro da mesma coluna não se diferenciam estatisticamente, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: Aatoria Própria (2016)

Verifica-se que tanto para os painéis que apresentavam somente biomassa vegetal, como para os painéis com biomassa vegetal e escória de alto-forno, os painéis que apresentam maior teor de biomassa em sua composição, apresentam os menores valores de resistência à compressão. Isso ocorre devido ao alto teor de biomassa na mistura, o que acaba por enfraquecer os compósitos, diminuindo assim, sua resistência à compressão.

Observa-se também que os painéis com escória em sua composição apresentam valores superiores de resistência à compressão, isso ocorre devido a escória de alto-forno apresenta um alto teor de sílica em sua composição, e esta quando em contato com a matriz cimentícia reage com o hidróxido de cálcio, formando uma quantidade extra de silicato de cálcio hidratado, sendo este o principal responsável pelo aumento da resistência à compressão dos compósitos.

Com relação a especificação da norma comercial BISON (1978), esta estabelece um valor mínimo de 15 MPa para a resistência à compressão, verificando-se, assim, que todos os painéis atendem ao mínimo estabelecido, com exceção dos painéis que apresentavam 45% de biomassa em sua composição. Procurando avaliar a influência da escória de alto-forno na resistência à compressão dos painéis através da ANOVA, pôde-se certificar que não há diferenças significativas para os painéis com e sem escória de alto-forno.

Com relação a especificação da norma comercial BISON (1978), esta estabelece um valor mínimo de 15 MPa para a resistência à compressão, verificando-se, assim, que todos os painéis atendem ao mínimo estabelecido, com exceção dos painéis que apresentavam 45% de biomassa em sua composição.

4.4.4 Resistência à flexão: Módulo de elasticidade - MOE e Módulo de ruptura - MOR

Os valores médios para o módulo de elasticidade (MOE) dos painéis de cimento-biomassa vegetal e cimento-biomassa vegetal-escória de alto-forno, com 4% de cloreto de cálcio, são apresentados na Tabela 38.

Tabela 38 - Módulo de elasticidade para a resistência à flexão dos painéis

Traço	Bambu mossô (%)	Substituição do cimento pela escória (%)	MOE (MPa)	C.V. (%)
P1	25	-	5761,1 ^{AB}	6,66
P2	30	-	8454,8 ^A	14,16
P3	35	-	6891,9 ^{AB}	45,25
P4	40	-	7554,6 ^A	10,51
P5	45	-	1381,9 ^C	18,29
P6	25	40	7472,8 ^A	12,17
P7	30	40	7224,3 ^A	10,48
P8	35	40	5616,7 ^{AB}	4,21
P9	40	40	3756,1 ^{BC}	12,22
P10	45	40	1494,0 ^C	43,50

*Médias seguidas pela mesma letra dentro da mesma coluna não se diferenciam estatisticamente, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: A autoria Própria (2016)

Verifica-se que os painéis com biomassa vegetal e cimento Portland apresentam valores não significativamente diferentes de módulo de elasticidade, quando comparados com os painéis que apresentavam escória de alto-forno em sua composição. Isto ocorre pelo fato da fibra proporcionar uma maior elasticidade aos painéis, fazendo com que estes suportem por mais tempo as tensões de deformações.

As especificações técnicas a ISO 8355 (1987) e a norma comercial Bison (1978) estabelecem mínimo de 3000 N/mm² e a norma europeia EN 1058 (2009) estabelece valor mínimo de 4500 N/mm² para o módulo de elasticidade. Assim, verifica-se que somente os painéis com 45% de biomassa de bambu mossô (com ou sem escória de alto-forno) não atendem a este mínimo.

Realizou-se ANOVA, verificando que não há diferenças significativas entre os painéis produzidos com bambu mossô e os painéis com bambu e escória de alto-forno.

Os valores médios para o módulo de ruptura para a resistência à flexão (MOR) são apresentados na Tabela 39.

Tabela 39 - Módulo de ruptura para a resistência à flexão dos painéis

Traço	Bambu mossô (%)	Substituição do cimento pela escória (%)	MOR (MPa)	C.V. (%)
P1	25	-	10,7 ^B	3,02
P2	30	-	14,6 ^A	8,91
P3	35	-	10,2 ^B	13,89
P4	40	-	9,4 ^B	14,33
P5	45	-	3,5 ^{DE}	5,55
P6	25	40	9,0 ^B	6,53
P7	30	40	7,5 ^{BC}	17,80
P8	35	40	7,4 ^{BC}	19,19
P9	40	40	5,5 ^{CD}	28,14
P10	45	40	2,3 ^E	16,98

*Médias seguidas pela mesma letra dentro da mesma coluna não se diferenciam estatisticamente, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: Autoria Própria (2016)

Observa-se que os painéis com cimento e biomassa vegetal de bambu mossô apresentam valores superiores de módulo de ruptura, quando comparados com os painéis com cimento-biomassa vegetal-escória de alto-forno.

Observa-se uma relação direta entre o módulo de elasticidade e o módulo de ruptura dos painéis, assim, quanto maior o módulo de elasticidade mais rígido é o material, ou seja, apresenta uma menor deformação elástica para suportar as tensões de ruptura.

Além disso, quanto mais biomassa era incorporada aos compósitos, mais difícil tornava-se a homogeneização do material, criando assim, poroso que podem ter afetado o módulo de ruptura dos painéis.

Os painéis feitos somente com bambu mossô apresentam valores superiores de módulo de ruptura, atendendo as especificações da ISO 8355 (1987), EN 1058 (2009) e BISON (1978) que preveem um módulo de ruptura mínimo de 9 MPa, o que não é verificado nos painéis com escória de alto-forno.

Buscando analisar os efeitos da adição de escória de alto-forno aos painéis, através da ANOVA, pôde-se afirmar que há diferenças significativas no módulo de ruptura dos painéis com e sem escória de alto-forno.

4.4.5 Ligação interna

A Tabela 40 apresenta os valores médios de ligação interna para os painéis de cimento-biomassa vegetal e cimento-biomassa vegetal-escória de alto-forno, com 4% de cloreto de cálcio.

Tabela 40 - Ligação interna dos painéis

Traço	Bambu mossô (%)	Substituição do cimento pela escória (%)	Ligação interna (MPa)	C.V. (%)
P1	25	-	1,4 ^{AB}	1,66
P2	30	-	1,4 ^A	4,87
P3	35	-	1,1 ^B	19,84
P4	40	-	1,6 ^A	15,25
P5	45	-	1,4 ^{AB}	14,11
P6	25	40	1,6 ^A	7,11
P7	30	40	1,1 ^B	7,30
P8	35	40	1,6 ^A	10,59
P9	40	40	1,4 ^{AB}	12,64
P10	45	40	1,6 ^A	1,25

*Médias seguidas pela mesma letra dentro da mesma coluna não se diferenciam estatisticamente, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: Aatoria Própria (2016)

Para os painéis produzidos somente com biomassa vegetal e cimento Portland, verifica-se que o painel P4, com traço 2,5: 1 (cimento: biomassa vegetal)

apresenta valor de resistência à compressão superior aos demais. Observando a proximidade da relação estabelecida por Iwakiri *et al* (2005) que afirmam que a relação madeira:cimento mais empregada industrialmente, é de 2,75: 1. A Figura 26 apresenta os corpos de prova depois de ensaiados.



Figura 26 – Corpos de prova de ligação interna após ensaiados
Fonte: Autoria Própria (2016)

Observa-se por meio da Figura 26 que ocorre a ruptura dos corpos de prova no centro destes. Para a ligação interna, a ISO 8355 (1987), a EN 1058 (2009) e a norma comercial BISON (1978) estabelecem um valor mínimo de 0,45 N/mm², 0,50 N/mm² e 0,40 N/mm², respectivamente. Assim, todos os painéis atendem as especificações estabelecidas por estas.

Procurando analisar o efeito da adição de escória de alto-forno nos painéis, realizou-se a ANOVA, assim, pôde-se afirmar que não há diferenças significativas entre os painéis com e sem escória.

4.4.6 Microscopia eletrônica de varredura - MEV

As Figura 27 e Figura 28 apresentam imagens feitas com o microscópio eletrônico de varredura - MEV dos painéis de cimento-biomassa vegetal produzidos com bambu mossô, com bambu mossô e escória de alto-forno, respectivamente, ampliados em 1000 vezes.

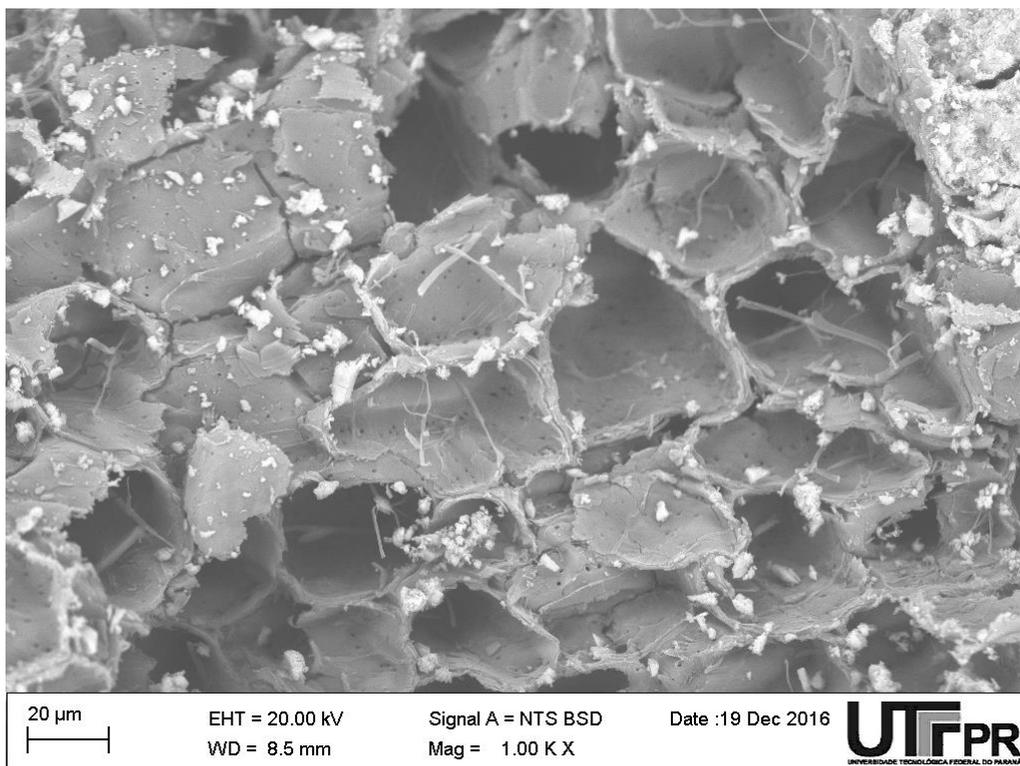


Figura 27 - Painel cimento-biomassa vegetal com bambu mossô, ampliado 1000 vezes
Fonte: MEV (2016)

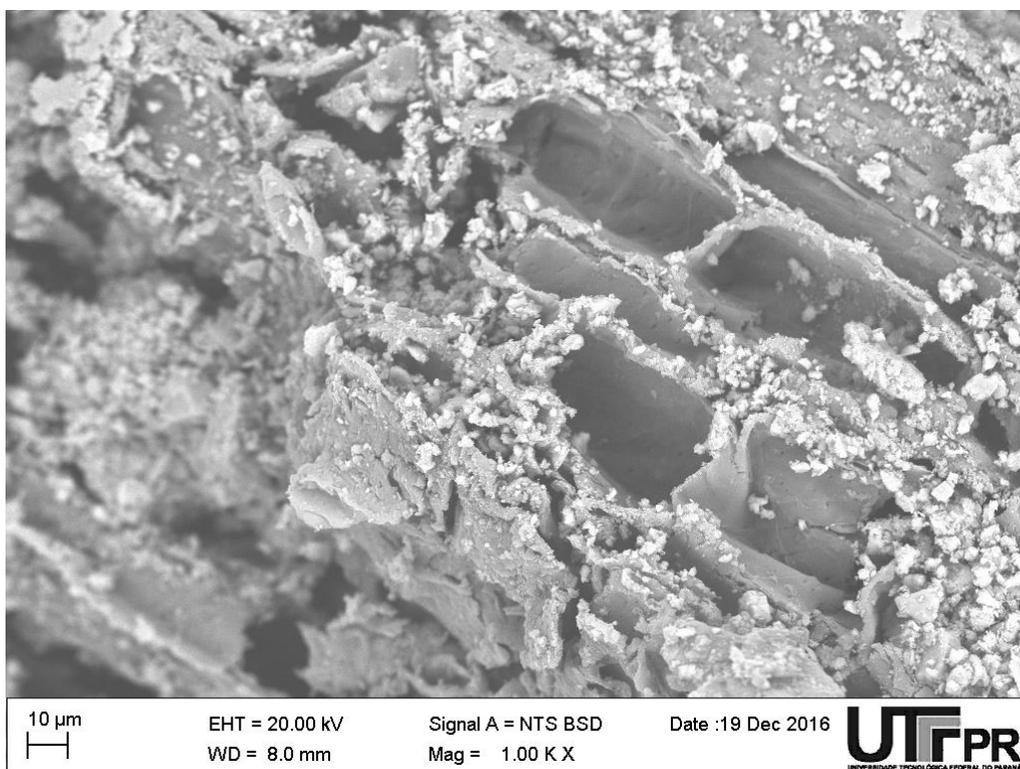


Figura 28 - Painel cimento-biomassa vegetal com bambu mossô e escória de alto-forno, ampliado 1000 vezes
Fonte: MEV (2016)

Através das imagens acima, verifica-se que os painéis feitos com bambu e escória de alto-forno apresentam menor porosidade do que os painéis produzidos com o bambu mossô. Isso deve-se ao fato de que a escória de alto-forno apresenta maior teor de sílica em sua composição, e esta quando em contato com a pasta de cimento forma uma quantidade extra de silicato de cálcio hidratado levando a essa redução.

Com relação as propriedades físicas, verifica-se que os painéis feitos com bambu e adição de escória de alto-forno apresentam diferenças significativas para a densidade e o inchamento em espessura, quando comparados aos painéis produzidos somente com bambu mossô sem escória. Este fato pôde ser explicado pelo fato do painel com escória apresentar uma menor porosidade da matriz, tornando-o mais denso, já no que se refere ao inchamento em espessura, o aumento do teor de biomassa nos compósitos acabou por criar poros entre os cristais formados pela hidratação do cimento Portland.

Para as propriedades mecânicas, observa-se que não há diferenças significativas para a resistência à compressão, módulo de elasticidade, módulo de ruptura e ligação interna dos painéis, demonstrando assim, a viabilidade da substituição do cimento Portland pela escória de alto-forno, pois o cimento é um aglomerante que causa grandes emissões de CO₂ na atmosfera, além de apresentar valor comercial superior a escória de alto-forno, sendo esta um resíduo na produção de ferro gusa, apresentando grande viabilidade econômica para sua utilização.

5 CONCLUSÃO

São apresentadas as conclusões decorrentes da realização da pesquisa, bem como sugestões de trabalhos futuros relacionados ao tema da pesquisa:

- Quanto a compatibilidade da biomassa sem pré-tratamento com o cimento CPV-ARI: concluiu-se que o bambu mossô apresenta moderada inibição e a cana-de-açúcar apresenta alta inibição sobre o cimento Portland;
- Quanto aos tratamentos realizados nas duas biomassas: verifica-se que tanto para a biomassa de bambu mossô quanto para a biomassa de cana-de-açúcar a adição de cloreto de cálcio à mistura foi o tratamento mais eficiente para o aumento da compatibilidade;
- Para a adição dos vários teores de escória de alto-forno aos compósitos com bambu mossô tratado com água fria, observa-se que mesmo variando o teor de escória de alto-forno de 5% a 70%, estes não afetam de forma negativa a compatibilidade e a resistência à compressão dos compósitos;
- No que se refere às características físicas, os painéis com biomassa vegetal de bambu mossô e cimento Portland, atendem aos valores estabelecidos pela ISO e as normas internacionais;
- As propriedades mecânicas dos painéis de cimento madeira com a adição de escória de alto-forno atendem aos limites mínimos estabelecidos pelas normas, ou seja, o módulo de elasticidade, ligação interna e resistência à compressão;
- Conclui-se que para os painéis cimento-biomassa vegetal a biomassa de bambu mossô apresenta viabilidade para a confecção de painéis enquanto que a biomassa de cana-de-açúcar é inviável devido à sua alta inibição sobre a cura do cimento Portland,
- Constatando-se também, que o bambu mossô pode ser utilizado para a produção de painéis cimento-biomassa vegetal mesmo sem o pré-tratamento deste. Apresentando viabilidade econômica, pois não necessita de insumos para o seu pré-tratamento, diminuindo, assim, o tempo de moldagem dos painéis.

- Comprova-se a viabilidade de substituição do cimento Portland pela escória de alto-forno nesse produto. Pois além de atender às normas no que se refere às propriedades físicas e mecânicas deve-se considerar que o cimento é um aglomerante que causa emissão de CO₂ na atmosfera, além de apresentar custos superiores.
- Recomenda-se para futuros trabalhos, estudo mais aprofundado sobre o material produzido, analisando aspectos quando a sua durabilidade. Podendo ser analisadas características como resistência ao fogo, isolamento térmico e acústico.

REFERÊNCIAS

AITCIN, P. C.; MINDESS, S. **Sustainability of Concrete**. USA e Canada: Spon Press, 2011

ALBERTO, M. M.; MOUGEL, E.; ZOULALIAN, A.. Compatibility of some tropical hardwoods species with Portland cement using isothermal calorimetry. **Forest Products Journal**, v. 50, n. 9, p. 83, 2000.

ALONSO, S.; PALOMO, A.. Alkaline activation of metakaolin and calcium hydroxide mixtures: influence of temperature, activator concentration and solids ratio. **Materials Letters**, v. 47, p. 55–62, 2001.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 125 - 03**: Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates. Estados Unidos, 2003, 5 p

_____. **ASTM D 1037** - Standard methods of evaluating the properties of wood-based fiber and particle panel materials. Estados Unidos, 1982, 31 p

_____. **ASTM C 989/ C 989M**: Standard Specification for Slag Cement for Use in Concrete and Mortars. Estados Unidos, 1999, 8 p.

ANJOS, M. A. S.; GHAVAMI, K.; BARBOSA, N. P.. Uso de polpa de bambu como reforço de matrizes cimentícias. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, p. 10.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. Guia básico de utilização do Cimento Portland. 7. ed. São Paulo, 2002. 28p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5733 (EB- 2)**: Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (1991). Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 7211**- Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2005, 11 p.

_____. **NBR 7215** - Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996, 8 p.

_____. **NBR 9778** – Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005, 4 p.

_____. **NBR 5738** - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003, 6 p.

_____. **NBR NM 248** – Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003, 6 p.

_____. **NBR 9776** – Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman. Rio de Janeiro, 1987, 3 p.

_____. **NBR 5735** - Cimento Portland de alto-forno. Rio de Janeiro, 1991, 6 p.

_____. **NBR 11579** - Cimento Portland – Determinação da finura por meio da peneira 75 µm (nº200). Rio de Janeiro, 1991, 3 p.

_____. **NBR NM 76** - Cimento Portland – Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine). Rio de Janeiro, 1998, 12 p.

BACELLAR, R. S.. **Caracterização microestrutural e mecânica de resíduos da agroindústria**. 2010. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia de Materiais, Rio de Janeiro, 2010.

BERALDO, A. L.; VIEIRA, F. F. Argamassa com adição de fibras de sisal. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA EM ARGAMASSAS**, v. 5, p. 449-454, 2003.

BERALDO, A. L.. **Généralisation et optimisation de la fabrication d'un composite biomasse végétalement à variations dimensionnelles limitées vis-à-vis des variations de l'humidité**, 1994. 222 p. Tese (Doutorado) - Université Henri Poincaré, Nancy, 1994.

BERALDO, A. L. e CARVALHO, J. V.. Compósito Eucalyptus grandis- cimento Portland. **Scientia Forestalis**. n.65, p. 150-161. 2004.

BERALDO, A. L.; SAMPAIO, C. A. Compósitos à base de resíduos vegetais e cimento Portland. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 8., 2002, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2002. p. 85-90. 2002.

BIBLIS, E.J.; LO, C. Sugar and other wood extractives: effect on the setting of southern pine-cement Mixtures. **Forest Products Journal**, v. 18, n. 8, p. 28-34, 1968.

BILBA, K.; ARSÈNE, M. A.; JUNIOR SAVASTANO; H.; GHAVAMI, K.. Treatments of non-wood plant fibres used as reinforcement in composite materials. **Materials Research**, v. 16, n. 4, p. 903-923, 2013.

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. **Cement and Concrete Composites**, v. 25, ed. 1, p. 91-96. 2003. ISSN 0958-9465, [http://dx.doi.org/10.1016/S0958-9465\(02\)00003-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0958-9465(02)00003-3). 2003.

BIRICIK, H., AKOZ, F., BERKTAY, I, TULGAR, A. N., Study of pozzolanic properties of wheat straw ash. **Cement and Concrete Research**. v. 29, 637-643 p. 1999.

BISON WOOD-CEMENT BOARD. **Bison Report**. [s.l:s.n], 1978. 10 p.

BODIG, J.; JAYNE, B. A.. **Mechanics of wood and wood composites**. Malabar, FL: Krieger, 1993. 712 p. ISBN 0-89464-777-6

BRITISH STANDARD INSTITUTION. **BS 6699**. Specification for Ground granulated blastfurnace slag for use with Portland cement. 1992, 22 p.

_____. **BS EN 1058** - Wood-based panels- Determination of characteristic values of mechanical properties and density. 2009, 12 p.

_____. **BS EN 317** – Particleboards and fibreboards – Determination of swelling in thickness after immersion in water. British Standards Institution, London, 1993. 12 p.

_____. **BS EN 323** - Wood-based panels - Determination of density. EN, B. S. 323: 1993. British Standards Institution, London, 1993. 11 p.

CABRAL, M. R.; FIORELLI, J.; JUNIOR SAVASTANO, H.; LAGACÉ, R.; GODBOUT, S.; PALACIOS, J. H.. Study of the potential use of the sugarcane bagasse in cement-panels. **Studies**, v. 7, n. 8, p. 9, 2015.

CASTRO, V. G.; BRAZ, R. L.; AZAMBUJA, R. R.; LOIOLA, P. L.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.. Painéis cimento-madeira de Eucalyptus saligna com diferentes aditivos químicos e métodos de formação. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 45, n. 2, p. 349 - 360, 2015.

CHEUMANI, Y.A.M.; NDIKONTAR, M.; JÉSO, B. DE; SÈBE, G.. Probing of wood–cement interactions during hydration of wood–cement composites by proton low-field NMR relaxometry. **Journal of Materials Science**. v. 46, ed. 5, p. 1167-1175. 2011

CORRADINI, R. M.. **Adição de fibras de cana-de-açúcar tratadas com resina fenólica em matriz cimentícia**. 2014. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de São João Del Rei. Departamento de Engenharia Mecânica. São João Del Rei, 2014.

DEL MENEZZI, C. H. S.; CASTRO, V. G.; SOUZA, M. R.. Production and properties of a medium density wood-cement boards produced with oriented strands and silica fume. **Maderas Ciencia y tecnologia**. v. 9, n. 2, p. 105-115, 2007.

EUROPEAN STANDARD - Cement - Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements. EN, CEN 197-1: 2000. European Committee for Standardization, Brussels, 2000.

_____. Admixtures for concrete, mortar and grout. Common requirements. EN, B. S. 934 - 1: 2008. British Standards Institution, London, 2008.

FAN, M.Z.; BONFIELD, P.W.; DINWOODIE, J.M.; BREESE, M.C.. Dimensional instability of cement-bonded particleboard: Mechanisms of deformation of CBPB.

Cement and Concrete Research. v. 29, ed. 6, p. 923-932. 1999. ISSN 0008-8846. [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(99\)00076-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(99)00076-9).

FAN, M.; NDIKONTAR, M. K.; ZHOU, X.; NGAMVENG, J. N.. Cement-bonded composites made from tropical woods: Compatibility of wood and cement. **Construction and Building Materials**, v. 36, p. 135-140. 2012. ISSN 0950-0618, <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.089>.

FENGEL, W.A., WEGENER, G. **Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions.** Berlin. Ed. Walter de Gruyter, 613 p., 1989.

FRYBORT, S.; MAURITZ, R.; TEISCHINGER, A.; MULLER, U.. Cement bonded composites – a mechanical review. **Bioresources**, v.3, n.2, p. 602-623, 2008.

GARCEZ, M. R.; GARCEZ, E. O.; MACHADO, A. O.; GATTO, D. A. Cement-wood composites: effects of wood species, particle treatments and mix proportion. **International Journal of Composite Materials**, v. 6, n. 1, p. 1-8, 2016

GRANDI, L.A.C.. **Placas pré-moldadas de argamassa de cimento e pó de serra. Campinas.** 1995. 128 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 1995.

GHAVAMI, K.. Bamboo as reinforcement in structural concrete elements. **Cement and Concrete Composites.** v. 27, ed, 6, p. 637-649. 2005 ISSN 0958-9465. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.06.002>.

HACHMI, M.H.; MOSLEMI, A. A.. Correlation between wood-cement compatibility and wood extractives. **Forest products journal (USA)**, 1989.

HACHMI, M.H.; CAMPBELL, A.G.. Wood–cement chemical relationships, Fiber and Particleboards Bonded with Inorganic Binders. **Forest Products Research Society**,. Madison, WI, p. 43– 47. 1989.

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

HACHMI, M.H.; MOSLEMI, A. A. Effect of wood pH and buffering capacity on wood-cement compatibility. **Holzforschung**, v. 44, p. 425 – 430, 1990.

HIZIROGLU, S.; JARUSOMBUTI, S.; FUEANGVIVAT, V.; BAUCHONGKOL, P.; SOONTONBURA, W.; DARAPAK, T.. Properties of bamboo-rice straw-eucalyptus composite panels. **Forest Products Journal**, v.55, p.221-225, 2005.

HO, W. J.; VASIL, I. K. Somatic embryogenesis in sugarcane (*Saccharum officinarum* L. I. The morphology and physiology of callus formation and the ontogeny of somatic embryos. **Protoplasma**, v. 118, n. 3, p. 169-180, 1983.

HU, X. P.; HSIEH, Y. L.. Effects of dehydration on the crystalline structure and strength of developing cotton fibers. **Textile Research Journal**, v. 71, n. 3, p. 231-239, 2001.

International Organization for Standardization. **ISO 8335** - Cement-bonded particleboards. Boards of Portland or equivalent cement reinforced with fibrous wood particles. 1987, Geneva.

ITAMBÉ. Relatório de ensaios de cimento CP V – ARI. Disponível em <http://www.cimentoitambe.com.br/wp-content/themes/itambe-cimento-certo/_assets/pdf/relatorios/2016-4/CP-V-ARI.pdf>. Acesso mar 2016.

IWAKIRI, S.; KEINERT JUNIOR, S.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; LATORRACA, J. V. F.; MENDES, L. M. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: Ajir Gráfica. v. 1, 247 p, 2005.

IWAKIRI, S.. (2016). Notas de aula. Disponível em <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinassetsuo/setsuo-pcm.pdf>>. Acesso 05 jun 2016

HOFSTRAND, A. D.; MOSLEMI, A. A.; GARCIA, J. F.: Curing characteristics of wood particle from nine northern Rocky Mountain species mixed with Portland cement. **Forest Prod.**, v. 34, p. 57 – 61. 1984

JACOMINO, V. M. F.; CASTRO, L. F. A.; RIBEIRO, E. D. L.; LEÃO, M. M. D.; SOUZA, C. M.; GOMES, A. M.; ALMEIDA, M. L. B.; FURIATTI, L. E.. Controle ambiental das indústrias de produção de ferrogusa em altos-fornos a carvão vegetal. Belo Horizonte: Projeto Minas Ambiente, 2002. 302 p. ISBN: 85-88669-0566.

JANSSEN, J. J. A. (1981). Bamboo in Building Structure. Dissertation published at the Technical University of Eindhoven

JOHN, V. M. **Cimentos de escória ativada com silicatos de sódio**. 1995. 199 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da. São Paulo, 1995

JOHN, V.M., AGOPYAN, V.. Materiais reforçados com fibras vegetais. In: Simpósio Internacional de Materiais Reforçados com Fibras para a Construção Civil. **Anais**. p.29-38, EPUSP, São Paulo, 1993.

JONES, R. M. **Mechanics of composite materials**. 2nd ed. 1999

JORGE, F. C. PEREIRA, C. FERREIRA, J. M. F. Wood-cement composites: a review. Published online: 31 July 2004. Springer-Verlag. 2004. **Holz als Roh- und Werkstoff**, v. 62, ed. 5, p. 370-377. 2004. DOI: 10.1007/s00107-004-0501-2.

KARADE, S. R.; IRLE, M.; MAHER, K.. Influence of granule properties and concentration on cork-cement compatibility. **Holz als Roh-und Werkstoff**, v. 64, n. 4, p. 281-286, 2006.

KASIM, M.M.; ZEYNAL, E.K. Mechanical Properties of Wood Shavings-Cement Lightweight Composites. **Al-Rafidain Engineering**, v.23, n.2, 2015.

KLOCK, U. Química da Madeira. Nota de aula do curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná. 2016

KRÜGER, E.L.; ADRIAZOLA, M.; MATOSKI, A.; IWAKIRI, S. Thermal analysis of wood–cement panels: Heat flux and indoor temperature measurements in test cells. **Construction and Building Materials**, v. 23, n. 6, p. 2299-2305. 2009. ISSN 0950-0618.

LATORRACA, J.V. F.. **Eucalyptus spp. na produção de painéis de cimento-madeira. 2000. 191p.** 2000. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) -Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

LEE, A. W. C., HONG, Z.. Compressive strength of cylindrical samples as na indicator of wood-cement compatibility. **Forest Products Journal**. v. 36, p. 87-90. 1986.

LEE, A. W. C.; HONG, Z.; PHILLIPS, D. R.; HSE, C. Y.. Effect of cement/wood ratios and wood storage conditions on hydration temperature, hydration time, and compressive strength of wood-cement mixtures. **Wood and Fiber Science**, v. 19, p. 262 -268. 1987.

LEWIS, K.J. e. HARTLEY, I.D.. Rate of deterioration, degrade, and fall of trees killed by mountain pine beetle. **Journal of Ecosystems and Management**, v. 7, p. 11–19, 2006.

LIMA, A. J. M.. **Utilização de resíduo de *Pinus spp* e materiais cimentício alternativos na produção de blocos para alvenaria estrutural.** 2009. 303 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, 2009.

LOPES, G. A.. **Uso energético de resíduos não madeireiros em um pólo de produção de cerâmicas vermelhas do Estado de São Paulo.** 2012. 100 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

LUZ, S. M.; CALDEIRA-PIRES, A.; FERRÃO, P. M. C. Environmental benefits of substituting talc by sugarcane bagasse fibers as reinforcement in polypropylene composites: Ecodesign and LCA as strategy for automotive componentes. **Resources, Conservation and Recycling**, v.54, n. 12, p. 1135-1144. 2010. ISSN 0921-3449, <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.03.009>.

MA, L., et al. Manufacture of cement-bonded boards from wood and other lignocellulosic materials: relationships between cement hydration and mechanical properties of cement-bonded boards. Wood–Cement Composites in the Asia–Pacific Region. **Proceedings** of a workshop held at Rydges Hotel, Canberra, Australia, 2000

MACÊDO, A. N.; SOUZA, A. A. C.; NETO, B. B. P.. Chapas de cimento-madeira com resíduos da indústria madeireira da Região Amazônica. 2012.

MACHADO, G. O.. **Preparação e caracterização de CMC e CMC grafitizada**. Dissertação [mestrado em ciências e engenharia dos materiais] - Instituto de Química de São Carlos. Universidade de São Paulo, 2000.

MARTIN, A. R.; MATTOSO, L. H. C.; MARTINS, M. A.; SILVA, O. R. R. F. Caracterização química e estrutural de fibra de sisal da variedade Agave sisalana. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 19, n. 1, p. 40-46, 2009.

MASSUCATO, C. J.. **Utilização de escória de alto-forno à carvão vegetal como adição no concreto**. 2005. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, 2005.

MATOSKI, A.. **Utilização de pó de madeira com granulometria controlada na produção de painéis de cimento-madeira**. 187p. 2005. Tese de Doutorado. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo, SP: Pini, 1994. 573 p. ISBN 8572660402.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2008. xxviii, 674 p. + 1 CD-ROM ISBN 9788598576121.

MESA VALENCIANO, M. C.. **Durabilidade de compósitos cimentícios com materiais lignocelulósicos**. 2004. 186 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2004.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, IDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR (MDIC). Nota Técnica Plano Indústria Subsetor Cimento. Disponível em <<http://www.abdi.com.br/Estudo/caderno%2003%20-%20Nota%20T%C3%A9cnica%20Subsetor%20Cimento.pdf>>. Acesso 10 abr 2016.

MILLER, D. P. e MOSLEMI, A. A.. Wood-cement composites: effect of model compounds on hydration characteristics and tensile strength. **Wood Fiber Sci.**, v. 23, p. 472–482, 1991.

MORI, F. A.; LOPES, Y. L. V.; MENDES, L. M.; LATORRACA, J. V. F. Estudo da compatibilidade entre a madeira e as cascas de *Eucalyptus grandis* e cimento Portland. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 3, p. 257-264, 2007.

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

MOSLEMI A. A.. Inorganic-bonded wood and fiber composite materials. **Forest Products Research Society**, Madison. 5, 1997. 162 p.

MOSLEMI, A. A.. **Particleboard**. London: Southern Illinois University, 1974. 245 p.

MOSLEMI, A. A.. Wood-cement panel products: coming of age. In: 1st Inorganic Bonded Fiber Composites Symposium. Forest Products Research Society. **Proceedings**, USA. p. 12-18, 1989.

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

NA, B.; WANG, Z.; WANG, H.; NANJING, X. L.. Wood-cement compatibility review. **Wood Res**, v. 59, n. 5, p. 813-826, 2014.

NAZERIAN, M.; EGHBAL, S. H.. The influence of additive content and particle size of bagasse on some properties of cement-bonded particleboard. **Journal of the Indian Academy of Wood Science**, v. 10, n. 2, p. 86-94, 2013.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. 2 ed. Porto Alegre: BOOKMAN, 2013. 472 p

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: Pini, 1982. xv, 738 p.

OBATAYA, E.; KITIN, P.; YAMAUCHI, H.. Bending characteristics of bamboo (*Phyllostachys pubescens*) with respect to its fiber-foam composite structure. **Wood science and technology**, v. 41, n. 5, p. 385-400, 2007.

OKINO, E. Y. A.; SOUZA, M. R.; SANTANA, M. A. E.; ALVES, M. V. S.; SOUSA, M. E.; TEIXEIRA, D. E.. Physico-mechanical properties and decay resistance of *Cupressus* spp. cement-bonded particleboards, **Cement and Concrete Composites**, v. 27, n. 3, p. 333-338. 2005. ISSN 0958-9465, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.02.046>.

OKINO, E. Y. A.; SOUZA, M. R.; SANTANA, M. A. E.; SOUZA, M. E.; TEIXEIRA, D. E.. Chapa aglomerada de cimento-madeira de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. **Revista Árvore**, v. 28, n. 3, p. 451-457, 2004.

OLIVEIRA JUNIOR, E. F. **Determinação das propriedades físicas e químicas da madeira de *Hevea brasiliensis* em relação ao painel de extração de latex.**

2011. 55 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2011.

OLIVEIRA, P. F.; MARQUES, M. F. V.; MERAT, L. C. Estudo de metodologias de tratamento alcalino em fibras vegetais de malva. **Congresso Brasileiro de Polímeros** (12º CBPol), p. 1 – 4, 201

PAULA, L. E. R.; MENDES, L. M.; REZENDE, R. N.; ARANTES, M. D. C.. Efeito da temperatura e tempo de vaporização na cura de painéis cimento madeira. **Cerne**, v. 15, n. 4, p. 439-445, 2009.

PASCA, S.A.; HARTLEY, I.D.; REID, M.E.; THRING, R.W. Evaluation of Compatibility between Beetle-Killed Lodgepole Pine (*Pinus Contorta* var. *Latifolia*) Wood with Portland Cement. **Materials**, v. 3, p. 5311-5319, 2010. doi:10.3390/ma3125311.

PEHANICH, J. L.; BLANKENHORN, P. R.; SILSBEE, M. R.. Wood fiber surface treatment level effects on selected mechanical properties of wood fiber–cement composites. **Cement and Concrete Research**, v. 34, n. 1, p. 59-65. 2004. ISSN 0008-8846. [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00193-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00193-5).

PETTERSEN, R. C.. The Chemical Composition of Wood. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, **Forest Products Laboratory**, Madison, WI 53705. 1984.

PIMENTEL, L.; BERALDO, A. L.; JÚNIOR, H. S.. Durabilidade de compósito biomassa vegetal-cimento modificado por polímero. **Eng. Agríc. [Online]**, v. 26, n. 2, p. 344-353, 2006.

POURCHEZ, J.; GOVIN, A.; GROSSEAU, P.; GUYONNET, R.; GUILHOT, B.; RUOT, B. Alkaline stability of cellulose ethers and impact of their degradation products on cement hydration, **Cement and Concrete Research**, v. 36, n. 7, p. 1252-1256. 2006. ISSN 0008-8846, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2006.03.028>.

PORTAL DA MADEIRA, 2010. Disponível em <<http://portaldamadeira.blogspot.com.br/2010/02/composito-madeira-cimento-em-que.html>>. Acesso 05 jun 2016

PREVITE, R. W. e GRACE, W.R.. Some insights on the mechanism of saccharide set retardation of portland cement. **Cement and Concrete Research**, v. 1, n. 3, p. 301-316. 1971. ISSN 0008-8846, [http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846\(71\)90005-6](http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846(71)90005-6).

QI, H. e COOPER, P. A. The effects of composition and carbono dioxide injection time on the properties of wood-cement composites. **Holz als Roh- und Werkstoff**, v. 65, n. 4, p. 267-273. 2007.

QI, H.; COOPER, P. A.; WAN, H. Effect of carbon dioxide injection on production of wood cement composites from waste medium density fiberboard (MDF). **Waste**

Management, v. 26, n. 5, p. 509-515, 2006 ISSN 0956-053X.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2005.04.010>.

RAMACHANDRAN, V. S. Accelerators. In: RAMACHANDRAN, V. S. Concrete admixtures handbook - properties, science and technology. Segunda edição. Noyes. New Jersey. p. 185 - 285. 1995.

SANDERMANN, W. e KOHLER, R.; 1964: Studies on mineral-bonded wood materials. IV. A short test of the aptitudes of woods for cement-bonded materials. **Holzforschung**, v. 18, p. 53-59, 1964.

SARMIENTO, C. R.. **Argamassa de Cimento Reforçada com Fibras de Bagaço de Cana de Açúcar e sua Utilização como Material de Construção**. 1996. 105 f. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Agrícola –UNICAMP.

SAVASTANO JUNIOR, H. e SANTOS, S.. Uso de resíduos de fibra vegetal em construção. **Comciência**. 2008.

SEEMA, J.; RAKESH, K. U. C., Jindal. Mechanical behaviour of bamboo and bamboo composite. **Journal of Materials Science**, v. 27, n. 17, p. 4598-4604. 1992

SEGAL, L.; CREELY, J. J.; MARTIN, A. E.; CONRAD, C. M. An empirical method for estimating the degree of crystallinity of native cellulose using the x – ray diffractometer. **Textile Research Journal**, v. 29, n. 10, p. 786 – 794, Princeton, 1959.

SEMPLE, K.E. e EVANS, P.D. Screening Inorganic Additives for Ameliorating the Inhibition of hydration of Portland Cement by the heartwood of Acacia mangium. Wood–Cement Composites in the Asia–Pacific Region. **Proceedings** of a workshop held at Rydges Hotel, Canberra, Australia, 2000

SEFF, L.; FOLGUERAS, M. V.; HOTZA, D. Hidratação do cimento CP V ARI-RS: Influência da água nas reações de hidratação. In. **Congresso brasileiro de cerâmica**, v.49, p. 1-12, 2005.

Sistema Nacional de Informações Florestais. Produção. Disponível em <<http://www.florestal.gov.br/snif/producao-florestal/producao>> Acesso em: 04 abr. 2016

SJÖSTRÖM, E. **Wood Chemistry: Fundamentals and Applications**. Academic Press, Inc. Orlando. 1993.

SHAO, S.; WEN, G.; JIN, Z.. Changes in chemical characteristics of bamboo (*Phyllostachys pubescens*) components during steam explosion. **Wood Science and Technology**, v. 42, n. 6, p. 439-451, 2008.

SILVA, J. F.. **Propriedades físicas e mecânicas de argamassa reforçada com fibras de bagaço de cana – de –açúcar (FBC)**. 2010. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia, Goiânia, 2010.

SILVA, A. C.; SAVASTANO JUNIOR, H.; JOHN, V. M.. Envelhecimento de compósitos à base de escória de alto-forno reforçados com polpa celulósica residual de eucalipto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 25-44. 2009.

SIMATUPANG, M.H.; LANGE, H.; KASIM, A. SEDDING, N. Influence of wood species on the cement and gypsum. International Congress on Fiber and Particleboard with Inorganic Binder. Idaho. **Proceedings**, p. 33-42, 1988.

SOARES, P. A. e ROSSELL, C. E. **Conversão da Celulose pela Tecnologia Organosolv** (Vol. 3). São Paulo: Naippe – Núcleo de Análise Interdisciplinar de Políticas e Estratégias da Universidade de São Paulo. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

SUMARDI, I.; KOJIMA, Y.; SUZUKI, S.. Effects of strand length and layer structure on some properties of strandboard made from bamboo. **Journal of wood science**, v. 54, n. 2, p. 128-133, 2008.

SUMARDI, I.; ONO, K.; SUZUKI, S.. Effect of board density and layer structure on the mechanical properties of bamboo oriented strandboard. **Journal of wood science**, v. 53, n. 6, p. 510-515, 2007.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY - TAPPI T 257 cm – Sampling and preparing wood for analysis. 2002

_____. **TAPPI T 264 cm** – Preparation of wood for chemical analysis. 1997

_____. **TAPPI T 204 cm** – Solvent extractives of wood and pulp. 1997

_____. **TAPPI T 207 cm** – Water solubility of wood and pulp. 1999

_____. **TAPPI T 212 om** – One percent sodium hydroxide solubility of wood and pulp. 2002

_____. **TAPPI T 211 om** – Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525°C. 2002

_____. **TAPPI T 222 om** – Acid-insoluble lignin in wood and pulp. 2006

_____. **TAPPI T 550 cm** – Determination of equilibrium moisture in pulp, paper and paperboard for chemical analysis. 2008

_____. **TAPPI T 252 om** – pH and electrical conductivity of hot water extracts of pulp, paper, and paperboard. 2002

THOEMEN, H.; IRLE, M.; ŠERNEK, M. (Ed.). **Wood-based panels: an introduction for specialists**. Brunel University Press, 2010.

THOMAS, N. L. e BIRCHALL, J. D.. The retarding action of sugars on cement hydration, **Cement and Concrete Research**, v. 13, n. 6, p. 830-842, 1983. ISSN 0008-8846, [http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846\(83\)90084-4](http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846(83)90084-4).

União da Indústria da Cana-de-açúcar – UNICA. Disponível em <<http://www.unicadata.com.br/listagem.php?idMn=92>> Acesso em 15 mar 2017.

VAICKELIONIS, G. e VAICKELIONIENĖ, R. The influence of organic and mineral additives on hydration of cement. **Mater. Sci. (Medziagotyra)**, v. 9, p. 218-223, 2003.

VALENZUELA, W.A. **Contribution it la determination de !'aptitude d'essences forestieres pour la fabrication de panneaux de fibro-ciment**. 229 f. Gembloux (Belgique), Faculte des Sciences Agronomiques, 1989. Tese (Doutor em Sciences Agronomiques). Faculte des Sciences Agronomiques de Gembloux, 1989.

VASILIEV V. V.; MOROZOV, E. V.. **Mechanics and analysis of composite materials**. 1th ed. Amsterdam: Elsevier; 2001.

ZUCCO, L. L.. **Estudo da viabilidade de fabricação de placas de compósito à base de cimento e casca de arroz**. 1999. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 1999.

YASUDA, S.; IMA, K.; MATSUSHITA, Y.. Manufacture of wood-cement boards VII: cement-hardening inhibitory compounds of hannoki (Japanese alder, *Alnus japonica* Steud.). **Journal of wood science**, v. 48, n. 3, p. 242-244, 2002.

YOUNG, R. A.. Historical developments in wood chemistry. **SDU J Faculty of Forestry**, v. 1, p. 1-15, 2008.

YOUNG, J. F.. A review of the mechanisms of set-retardation in portland cement pastes containing organic admixtures. **Cement and Concrete Research**, v. 2, n. 4, p. 415-433, 1972. ISSN 0008-8846, [http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846\(72\)90057-9](http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846(72)90057-9).

YOUNG. J. F.. Effect of organic compounds on the interconversions of calcium aluminate hydrates: hydration of tricalcium aluminate. **Journal of the american ceramic society**, v. 53, n. 2, 1970.

YOUNGQUIST, J. A.; KRZYSIK, A. M.; ENGLISH, B. W.; SPELTER, H. N.; CHOW, P.. **Agricultural Fibers for use in building components**. Madison WI – USA, p. 123 – 134, 1996.

YU, X.. **Bamboo: Structure and Culture**. 2007. Tese (Doutorado) - Fachbereich Kunst und Design, Universität Duisburg, Essen, 2007.

YUSHUN, L.; HUANGYING, S.; WEI, S.; TIANSHI, H.. Flexural behavior of lightweight bamboo–steel composite slabs. **Thin-Walled Structures**, v. 53, p. 83-90. 2012. ISSN 0263-8231, <http://dx.doi.org/10.1016/j.tws.2012.01.001>.

WEI, Y. M.; ZHOU, Y. G.; TOMITA, B.. Study of hydration behavior of wood cement-based composite II: effect of chemical additives on the hydration characteristics and strengths of wood-cement composites. **Journal of Wood Science**, Tokyo, v. 46. p. 444 - 451, 2000.

WEI, Y. M., TOMITA, B., HIRAMATSU, Y., MIYATAKE, A., FUJII, T. Study of hydration behaviors of wood-cement mixtures: compatibility of cement mixed with wood fiber strand obtained by the water-vapor explosion process. **Journal of wood science**, v. 48, n. 5, p. 365-373, 2002.

APÊNDICE A - ANOVA

ANOVA para a resistência à compressão com biomassa de bambu mossô aos sete dias (a:c=0,4)

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	5	16,72739891	3,345479783	7,856086514	0,000543612
Resíduos	17	7,239375	0,425845588		

ANOVA para a resistência à compressão com biomassa de bambu mossô aos sete dias (a:c=0,5)

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P. valor
Fator	5	157,9812375	31,5962475	13,25487267	1,65708E-05
Resíduos	18	42,907425	2,383745833		

ANOVA para a resistência à compressão com biomassa de bambu mossô aos sete dias (a:c=0,6)

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	7	146,0682875	20,86689821	69,68505116	2,12944E-14
Resíduos	24	7,1867	0,299445833		

ANOVA para a resistência à compressão com biomassa de cana-de-açúcar aos sete dias (a:c=0,4)

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	2	0,01365	0,006825	34,6056338	5,94811E-05
Resíduos	9	0,001775	0,000197222		

ANOVA para a resistência à compressão com biomassa de cana-de-açúcar aos quatorze dias (a:c=0,5)

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	3	0,002831667	0,000943889	5,961403509	0,011477482
Resíduos	11	0,001741667	0,000158333		

ANOVA para a resistência à compressão com biomassa de cana-de-açúcar aos vinte e um dias (a:c=0,6)

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	3	0,555215	0,185071667	39,89786053	3,33257E-06
Resíduos	11	0,051025	0,004638636		

ANOVA para a absorção de água com biomassa de bambu mossô aos sete dias (a:c=0,4)

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	5	66,19263072	13,23852614	30,61848677	3,3552E-08
Resíduos	18	7,782666477	0,43237036		

ANOVA para o índice de vazios com biomassa de bambu mossô aos sete dias (a:c=0,4)

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	5	42,9840627	8,59681254	17,06915984	2,81793E-06
Resíduos	18	9,065626382	0,50364591		

ANOVA para a massa específica amostra seca com biomassa de bambu mossô aos sete dias (a:c=0,4)

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	5	0,044979782	0,008995956	13,5189423	1,44866E-05
Resíduos	18	0,011977802	0,000665433		

ANOVA para a massa específica amostra saturada com biomassa de bambu mossô aos sete dias (a:c=0,4)

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	5	0,028748806	0,005749761	7,520292446	0,000575066
Resíduos	18	0,013762191	0,000764566		

ANOVA para a massa específica real com biomassa de bambu mossô aos sete dias (a:c=0,4)

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	5	0,054666512	0,010933302	3,784957016	0,01616077
Resíduos	18	0,051995159	0,00288862		

ANOVA para a absorção de água com biomassa de bambu mossô aos sete dias (a:c=0,5)

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	5	141,120826	28,2241652	6,603345213	0,001179319
Resíduos	18	76,93600095	4,274222275		

ANOVA para o índice de vazios com biomassa de bambu mossô aos sete dias (a:c=0,5)

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	5	59,26723066	11,85344613	2,595261513	0,061665664
Resíduos	18	82,21215062	4,567341701		

ANOVA para a massa específica amostra seca com biomassa de bambu mossô aos sete dias (a:c=0,5)

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	5	0,276032256	0,055206451	141,5472285	8,46964E-14
Resíduos	18	0,007020386	0,000390021		

ANOVA para a massa específica amostra saturada com biomassa de bambu mossô aos sete dias (a:c=0,5)

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	5	0,335977853	0,067195571	84,49064306	7,41432E-12
Resíduos	18	0,014315435	0,000795302		

ANOVA para a massa específica real com biomassa de bambu mossô aos sete dias (a:c=0,5)

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	5	1,132446007	0,226489201	47,47971328	9,59248E-10
Resíduos	18	0,085864158	0,004770231		

ANOVA para a absorção de água com biomassa de bambu mossô aos sete dias (a:c=0,6)

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	7	727,1410267	103,8772895	72,37657874	1,38549E-14
Resíduos	24	34,4456037	1,435233488		

ANOVA para o índice de vazios com biomassa de bambu mossô aos sete dias (a:c=0,6)

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	7	171,986136	24,56944799	34,33314194	5,30474E-11
Resíduos	24	17,1748555	0,715618979		

ANOVA para a massa específica amostra seca com biomassa de bambu mossô aos sete dias (a:c=0,6)

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	7	0,175214557	0,025030651	74,91875908	9,35902E-15
Resíduos	24	0,008018494	0,000334104		

ANOVA para a massa específica amostra saturada com biomassa de bambu mossô aos sete dias (a:c=0,6)

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	7	0,104747376	0,014963911	56,52396141	2,24762E-13
Resíduos	24	0,006353657	0,000264736		

ANOVA para a massa específica real com biomassa de bambu mossô aos sete dias (a:c=0,6)

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	7	0,268109889	0,038301413	28,4150527	3,93021E-10
Resíduos	24	0,032350245	0,001347927		

ANOVA para a temperatura máxima dos compósitos com biomassa de bambu mossô e diferentes tratamentos

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	7	10410,93072	1487,275818	43,39060955	7,76132E-09
Resíduos	15	514,1466667	34,27644444		

ANOVA para o tempo mínimo dos compósitos com biomassa de bambu mossô e diferentes tratamentos

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	7	565,5	80,78571429	3,17891E+31	1,2775E-232
Resíduos	15	3,81195E-29	2,5413E-30		

ANOVA para os índices de compatibilidade dos compósitos com biomassa de bambu mossô e diferentes tratamentos

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	6	5591,45808	931,90968	1,87695E+32	8,1032E-207
Resíduos	13	6,45453E-29	4,96502E-30		

ANOVA para a temperatura máxima dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar e diferentes tratamentos

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	7	13555,95906	1936,56558	444,4495784	3,12249E-16
Resíduos	15	65,35833333	4,357222222		

ANOVA para o tempo mínimo dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar e diferentes tratamentos

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	7	175,2391304	25,03416149	2,5605E+31	6,4715E-232
Resíduos	15	1,46656E-29	9,77705E-31		

ANOVA para os índices de compatibilidade dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar e diferentes tratamentos

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	6	4966,243455	827,7072425	7,40284E+31	3,4278E-204
Resíduos	13	1,45352E-28	1,11809E-29		

ANOVA para a resistência à compressão dos compósitos com biomassa de bambu mossô sem tratamento e com os teores de 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da ANOVA					
	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Traço	3	224,97705	74,99235	11,25405046	0,000839321
Resíduos	12	79,96305	6,6635875		

ANOVA para a resistência à compressão dos compósitos com biomassa de bambu mossô tratada com hidróxido de sódio e com os teores de 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da ANOVA					
	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Traço	3	467,458625	155,8195417	6,555565703	0,007131599
Resíduos	12	285,22855	23,76904583		

ANOVA para a resistência à compressão dos compósitos com biomassa de bambu mossô tratada com silicato de sódio e com os teores de 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da ANOVA					
	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Traço	3	25,59916875	8,53305625	0,65426332	0,595518523
Resíduos	12	156,506825	13,04223542		

ANOVA para a resistência à compressão dos compósitos com biomassa de bambu mossô tratada com água fria e com os teores de 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da ANOVA					
	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Traço	3	55,04305	18,34768333	3,273865471	0,058852223
Resíduos	12	67,25145	5,6042875		

ANOVA para a resistência à compressão dos compósitos com biomassa de bambu mossô tratada com água quente e com os teores de 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da ANOVA					
	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Traço	3	63,189925	21,06330833	2,115557308	0,151606997
Resíduos	12	119,47665	9,9563875		

ANOVA para a resistência à compressão dos compósitos com biomassa de bambu mossô tratada com silano e com os teores de 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da ANOVA					
	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Traço	3	111,41725	37,13908333	1,521243854	0,259399878
Resíduos	12	292,96355	24,41362917		

ANOVA para a resistência à compressão dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar sem tratamento e com os teores de 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da ANOVA					
	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Traco	2	137,7772667	68,88863333	79,1335735	1,94421E-06
Resíduos	9	7,834825	0,870536111		

ANOVA para a resistência à compressão dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar tratada com hidróxido de sódio e com os teores de 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da ANOVA					
	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Traco	2	50,37621667	25,18810833	15,71751791	0,001157927
Resíduos	9	14,42295	1,60255		

ANOVA para a resistência à compressão dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar tratada com silicato de sódio e com os teores de 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da ANOVA					
	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Traco	2	68,18746667	34,09373333	35,51718311	5,36225E-05
Resíduos	9	8,6393	0,959922222		

ANOVA para a resistência à compressão dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar tratada com água fria e com os teores de 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da ANOVA					
	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Traco	2	64,42171667	32,21085833	9,483148796	0,006084626
Resíduos	9	30,569775	3,396641667		

ANOVA para a resistência à compressão dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar tratada com água quente e com os teores de 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da ANOVA					
	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Traco	2	54,36981667	27,18490833	15,98540228	0,00109133
Resíduos	9	15,305475	1,700608333		

ANOVA para a resistência à compressão dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar tratada com silano e com os teores de 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da ANOVA					
	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Traco	2	37,97251667	18,98625833	18,98462355	0,000590106
Resíduos	9	9,000775	1,000086111		

ANOVA para a absorção de água dos compósitos com biomassa de bambu mossô sem tratamento e com os teores de 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	3	102,6783898	34,22612992	11,3428572	0,000811274
Resíduos	12	36,20900377	3,017416981		

ANOVA para o índice de vazios dos compósitos com biomassa de bambu mossô sem tratamento e com os teores de 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	3	70,45069001	23,48356334	8,199761873	0,003088115
Resíduos	12	34,36718827	2,863932356		

ANOVA para massa específica amostra seca dos compósitos com biomassa de bambu mossô sem tratamento e com os teores de 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	3	0,044573748	0,014857916	10,84344856	0,000984635
Resíduos	12	0,016442647	0,001370221		

ANOVA para massa específica amostra saturada dos compósitos com biomassa de bambu mossô sem tratamento e com os teores de 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	3	0,016734471	0,005578157	8,476749287	0,002710685
Resíduos	12	0,007896646	0,000658054		

ANOVA para massa específica real dos compósitos com biomassa de bambu mossô sem tratamento e com os teores de 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	3	0,004268956	0,001422985	0,846355087	0,494672134
Resíduos	12	0,020175723	0,00168131		

ANOVA para a absorção de água dos compósitos com biomassa de bambu mossô tratada com hidróxido de sódio e com os teores de 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	3	25,25887239	8,419624129	6,231612259	0,008532072
Resíduos	12	16,21337871	1,351114893		

ANOVA para o índice de vazios dos compósitos com biomassa de bambu mossô tratada com hidróxido de sódio e com os teores de 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	3	13,44579378	4,481931259	5,268011251	0,015031974
Resíduos	12	10,20938881	0,850782401		

ANOVA para a massa específica amostra seca dos compósitos com biomassa de bambu mossô tratada com hidróxido de sódio e com os teores de 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	3	0,011857143	0,003952381	6,293576706	0,008241073
Resíduos	12	0,007536028	0,000628002		

ANOVA para a massa específica amostra saturada dos compósitos com biomassa de bambu mossô tratada com hidróxido de sódio e com os teores de 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	3	0,006365805	0,002121935	5,758611053	0,011193829
Resíduos	12	0,004421764	0,00036848		

ANOVA para a massa específica real dos compósitos com biomassa de bambu mossô tratada com hidróxido de sódio e com os teores de 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	3	0,008702346	0,002900782	3,880588126	0,037638244
Resíduos	12	0,008970132	0,000747511		

ANOVA para a absorção de água dos compósitos com biomassa de bambu mossô tratada com silicato de sódio e com os teores de 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	3	8,053009102	2,684336367	3,555955764	0,047625267
Resíduos	12	9,058615615	0,754884635		

ANOVA para o índice de vazios dos compósitos com biomassa de bambu mossô tratada com silicato de sódio e com os teores de 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	3	3,354832465	1,118277488	3,105763115	0,066985983
Resíduos	12	4,320783449	0,360065287		

ANOVA para a massa específica amostra seca dos compósitos com biomassa de bambu mossô tratada com silicato de sódio e com os teores de 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	3	0,008243852	0,002747951	3,826399289	0,039123061
Resíduos	12	0,008617869	0,000718156		

ANOVA para a massa específica amostra saturada dos compósitos com biomassa de bambu mossô tratada com silicato de sódio e com os teores de 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	3	0,006215271	0,002071757	4,009453653	0,034361505
Resíduos	12	0,006200616	0,000516718		

ANOVA para a massa específica real dos compósitos com biomassa de bambu mossô tratada com silicato de sódio e com os teores de 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	3	0,011353257	0,003784419	4,317886688	0,027773308
Resíduos	12	0,01051742	0,000876452		

ANOVA para a absorção de água dos compósitos com biomassa de bambu mossô tratada com água fria e com os teores de 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	3	46,96868917	15,65622972	3,54130897	0,048143507
Resíduos	12	53,05234823	4,421029019		

ANOVA para o índice de vazios dos compósitos com biomassa de bambu mossô tratada com água fria e com os teores de 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	3	37,48161078	12,49387026	5,156023614	0,016110701
Resíduos	12	29,07792019	2,423160016		

ANOVA para a massa específica amostra seca dos compósitos com biomassa de bambu mossô tratada com água fria e com os teores de 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	3	0,013016553	0,004338851	1,678820242	0,224212542
Resíduos	12	0,031013573	0,002584464		

ANOVA para a massa específica amostra saturada dos compósitos com biomassa de bambu mossô tratada com água fria e com os teores de 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	3	0,007015925	0,002338642	1,350778382	0,304475774
Resíduos	12	0,020775948	0,001731329		

ANOVA para a massa específica real dos compósitos com biomassa de bambu mossô tratada com água fria e com os teores de 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	3	0,024425116	0,008141705	2,193942945	0,141612946
Resíduos	12	0,044531906	0,003710992		

ANOVA para a absorção de água dos compósitos com biomassa de bambu mossô tratada com água quente e com os teores de 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	3	3,365717202	1,121905734	0,053539861	0,982885858
Resíduos	12	251,4550569	20,95458807		

ANOVA para o índice de vazios dos compósitos com biomassa de bambu mossô tratada com água quente e com os teores de 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	3	10,72279582	3,574265275	0,153534749	0,925402808
Resíduos	12	279,3581483	23,27984569		

ANOVA para a massa específica amostra seca dos compósitos com biomassa de bambu mossô tratada com água quente e com os teores de 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	3	0,000301096	0,000100365	0,029665883	0,992752285
Resíduos	12	0,040598242	0,003383187		

ANOVA para a massa específica amostra saturada dos compósitos com biomassa de bambu mossô tratada com água quente e com os teores de 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	3	0,001671142	0,000557047	0,333938697	0,801088018
Resíduos	12	0,020017357	0,001668113		

ANOVA para a massa específica real dos compósitos com biomassa de bambu mossô tratada com água quente e com os teores de 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	3	0,01071557	0,003571857	0,316285295	0,813407916
Resíduos	12	0,135517781	0,011293148		

ANOVA para a absorção de água dos compósitos com biomassa de bambu mossô tratada com silano e com os teores de 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	3	128,7743463	42,92478209	3,750591037	0,04131534
Resíduos	12	137,3376569	11,44480474		

ANOVA para o índice de vazios dos compósitos com biomassa de bambu mossô tratada com silano e com os teores de 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	3	141,8807881	47,29359603	4,441415845	0,025553824
Resíduos	12	127,7797829	10,64831524		

ANOVA para a massa específica amostra seca dos compósitos com biomassa de bambu mossô tratada com silano e com os teores de 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	3	0,006439776	0,002146592	1,343258743	0,30665255
Resíduos	12	0,019176575	0,001598048		

ANOVA para a massa específica amostra saturada dos compósitos com biomassa de bambu mossô tratada com silano e com os teores de 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	3	0,001925904	0,000641968	0,787551665	0,523679192
Resíduos	12	0,009781729	0,000815144		

ANOVA para a massa específica real dos compósitos com biomassa de bambu mossô tratada com silano e com os teores de 0, 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	3	0,085602738	0,028534246	3,253135541	0,059791121
Resíduos	12	0,105255667	0,008771306		

ANOVA para a absorção de água dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar sem tratamento e com os teores de 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	2	43,42844548	21,71422274	4,128002322	0,053439228
Resíduos	9	47,34202876	5,260225417		

ANOVA para o índice de vazios dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar sem tratamento e com os teores de 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	2	42,56560237	21,28280118	3,808221742	0,063338818
Resíduos	9	50,29780921	5,588645468		

ANOVA para a massa específica amostra seca dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar sem tratamento e com os teores de 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	2	0,004176531	0,002088266	3,159153158	0,091336196
Resíduos	9	0,005949186	0,000661021		

ANOVA para a massa específica amostra saturada dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar sem tratamento e com os teores de 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	2	0,001427188	0,000713594	1,447823095	0,28500017
Resíduos	9	0,004435864	0,000492874		

ANOVA para a massa específica real dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar sem tratamento e com os teores de 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	2	0,014446885	0,007223443	2,353780499	0,150581095
Resíduos	9	0,027619816	0,003068868		

ANOVA para a absorção de água dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar tratada com hidróxido de sódio e com os teores de 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	2	86,31102499	43,15551249	5,912260582	0,022935261
Resíduos	9	65,69392655	7,299325172		

ANOVA para o índice de vazios dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar tratada com hidróxido de sódio e com os teores de 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	2	87,80034302	43,90017151	4,769368196	0,03870176
Resíduos	9	82,84148495	9,204609439		

ANOVA para a massa específica amostra seca dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar tratada com hidróxido de sódio e com os teores de 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	2	0,004279522	0,002139761	27,07601616	0,000155721
Resíduos	9	0,000711251	7,90279E-05		

ANOVA para a massa específica amostra saturada dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar tratada com hidróxido de sódio e com os teores de 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	2	0,000860594	0,000430297	0,78121616	0,486579229
Resíduos	9	0,004957236	0,000550804		

ANOVA para a massa específica real dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar tratada com hidróxido de sódio e com os teores de 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	2	0,023588884	0,011794442	2,364632762	0,149512816
Resíduos	9	0,044890683	0,004987854		

ANOVA para a absorção de água dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar tratada com silicato de sódio e com os teores de 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	2	0,681968243	0,340984122	0,067377514	0,935309229
Resíduos	9	45,54720001	5,060800001		

ANOVA para o índice de vazios dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar tratada com silicato de sódio e com os teores de 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	2	3,151239505	1,575619752	0,249008184	0,784771424
Resíduos	9	56,94823968	6,327582186		

ANOVA para a massa específica amostra seca dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar tratada com silicato de sódio e com os teores de 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	2	0,001368207	0,000684103	0,876069258	0,44912214
Resíduos	9	0,007027903	0,000780878		

ANOVA para a massa específica amostra saturada dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar tratada com silicato de sódio e com os teores de 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	2	0,002898491	0,001449245	1,938068284	0,199552057
Resíduos	9	0,006730004	0,000747778		

ANOVA para a massa específica real dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar tratada com silicato de sódio e com os teores de 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	2	0,00841747	0,004208735	1,335571886	0,310513801
Resíduos	9	0,028361344	0,00315126		

ANOVA para a absorção de água dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar tratada com água fria e com os teores de 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	2	37,18628452	18,59314226	2,084634748	0,180328226
Resíduos	9	80,27223019	8,919136687		

ANOVA para o índice de vazios dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar tratada com água fria e com os teores de 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	2	34,98597662	17,49298831	1,240345506	0,33437605
Resíduos	9	126,9298708	14,10331897		

ANOVA para a massa específica amostra seca dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar tratada com água fria e com os teores de 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	2	0,009503401	0,004751701	5,449652433	0,028139781
Resíduos	9	0,007847346	0,000871927		

ANOVA para a massa específica amostra saturada dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar tratada com água fria e com os teores de 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	2	0,00231823	0,001159115	0,660373977	0,539996591
Resíduos	9	0,01579716	0,00175524		

ANOVA para a massa específica real dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar tratada com água fria e com os teores de 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	2	0,003347576	0,001673788	0,226124287	0,802016289
Resíduos	9	0,066618639	0,007402071		

ANOVA para a absorção de água dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar tratada com água quente e com os teores de 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	2	0,85571964	0,42785982	0,054434353	0,947330025
Resíduos	9	70,74096006	7,860106673		

ANOVA para o índice de vazios dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar tratada com água quente e com os teores de 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	2	1,111666312	0,555833156	0,072846453	0,930286089
Resíduos	9	68,67181845	7,63020205		

ANOVA para a massa específica amostra seca dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar tratada com água quente e com os teores de 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	2	0,001035712	0,000517856	0,201040436	0,821454232
Resíduos	9	0,02318291	0,002575879		

ANOVA para a massa específica amostra saturada dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar tratada com água quente e com os teores de 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	2	0,00120875	0,000604375	0,526524625	0,607786636
Resíduos	9	0,010330711	0,001147857		

ANOVA para a massa específica real dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar tratada com água quente e com os teores de 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	2	0,003034754	0,001517377	0,63739679	0,550950164
Resíduos	9	0,021425261	0,002380585		

ANOVA para a absorção de água dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar tratada com silano e com os teores de 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	2	41,16096214	20,58048107	3,104283705	0,094339574
Resíduos	9	59,66733302	6,629703669		

ANOVA para o índice de vazios dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar tratada com silano e com os teores de 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	2	30,63852752	15,31926376	1,940162372	0,199260234
Resíduos	9	71,06280165	7,89586685		

ANOVA para a massa específica amostra seca dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar tratada com silano e com os teores de 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	2	0,011069376	0,005534688	10,55758552	0,004360711
Resíduos	9	0,004718142	0,000524238		

ANOVA para a massa específica amostra saturada dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar tratada com silano e com os teores de 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	2	0,003452593	0,001726296	3,488651117	0,075565884
Resíduos	9	0,004453488	0,000494832		

ANOVA para a massa específica real dos compósitos com biomassa de cana-de-açúcar tratada com silano e com os teores de 3, 6 e 9% de aditivo acelerador de pega aos sete dias

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	2	0,003254876	0,001627438	0,480963481	0,633207722
Resíduos	9	0,030453334	0,003383704		

ANOVA para a temperatura máxima dos compósitos com biomassa de bambu mossô tratada com água fria e escória de alto-forno à carvão vegetal

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	10	3443,540108	344,3540108	23,22662093	7,28331E-09
Resíduos	20	296,5166667	14,82583333		

ANOVA para o tempo mínimo dos compósitos com biomassa de bambu mossô tratada com água fria e escória de alto-forno à carvão vegetal

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	10	124,7741935	12,47741935	6,5506E+30	7,0456E-303
Resíduos	20	3,80955E-29	1,90477E-30		

ANOVA para os índices de compatibilidade dos compósitos com biomassa de bambu mossô tratada com água fria e escória de alto-forno à carvão vegetal

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	9	1511,261586	167,917954	2,48451E+31	5,7521E-278
Resíduos	18	1,21654E-28	6,75858E-30		

ANOVA para a resistência à compressão dos compósitos com biomassa de bambu mossô tratada com água fria e com escória de alto-forno à carvão vegetal

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	9	620,7506518	68,97229464	12,55136755	3,24908E-10
Resíduos	51	280,2552799	5,495201566		

ANOVA para a densidade dos painéis de cimento-madeira

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	9	609965,6648	67773,96275	50,76896791	1,03575E-15
Resíduos	30	40048,45807	1334,948602		

ANOVA para o inchamento em espessura dos painéis de cimento-madeira

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	9	26,17327878	2,908142087	36,67750764	8,8649E-14
Resíduos	30	2,378685691	0,079289523		

ANOVA para a resistência à compressão dos painéis de cimento-madeira

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	9	1240,676056	137,8528951	6,925285641	2,43668E-05
Resíduos	30	597,1720257	19,90573419		

ANOVA para o módulo de elasticidade para a resistência à flexão dos painéis de cimento-madeira

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	9	139365670,8	15485074,53	10,14324438	5,75291E-07
Resíduos	30	45799176,15	1526639,205		

ANOVA para o módulo de ruptura para a resistência à flexão dos painéis de cimento-madeira

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	9	459,1853928	51,0205992	31,15943514	7,82882E-13
Resíduos	30	49,1221349	1,637404497		

ANOVA para a ligação interna dos painéis de cimento-madeira

Tabela da Anova					
	G.L.	Soma.de.Quadrados	Quadrado.Médio	Estat..F	P.valor
Fator	9	2,228009119	0,247556569	8,792988841	5,37234E-07
Resíduos	38	1,069846645	0,028153859		